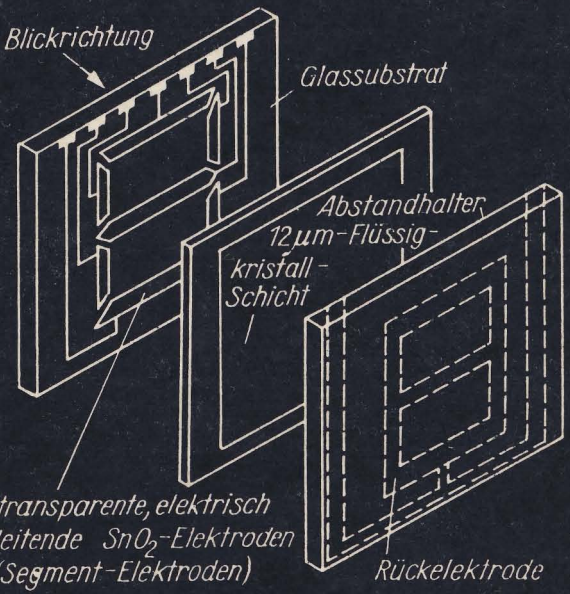
amateurreihe

electronica



Jakubaschk

LED- und LCD-Bauelemente und ihre Anwendung

208

electronica · Band 208

HAGEN JAKUBASCHK

LED- und LCD-Bauelemente und ihre Anwendung

MILITÄRVERLAG
DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN
REPUBLIK

1. Auflage
© Militärverlag
der Deutschen Demokratischen Republik (VEB) — Berlin, 1983
Lizenz-Nr. 5 · LSV 3539
Lektor: Wolfgang Stammler
Zeichnungen: Marion Schilling
Typografie: Martina Schwarz
Printed in the German Democratic Republic
Gesamtherstellung: Druckerei Märkische Volksstimme Potsdam
Redaktionsschluß: 20. Oktober 1982
Bestellnummer: 746 508 3
DDR 1,90 M

Inhalt

Vorwort 4

1. Leuchtdioden (LED) 6
1.1. Physikalische und optische Grundlagen der LED ... 6
1.2. Bauformen von LED 10
1.3. Die wichtigsten Kenndaten für den Amateur 17
1.4. Grundsätzliche Schaltungsweise von LED 22
1.4.1. Strombegrenzung 22
1.4.2. Betrieb der LED mit Wechselspannung 24
1.4.3. Spezielle Betriebsweisen 25
1.5. Anwendungshinweise für LED 27
1.5.1. Besonderheiten der einfarbigen Strahlung 27
1.5.2. Lichtempfänger für LED-Strahlung 29
1.5.3. LED als Lichtempfänger 33
1.6. Schaltbeispiele mit LED 35
1.6.1. Blinkschaltungen 35
1.6.2. Spannungswächter 43
1.6.3. LED-Leuchtzeilen 46
1.6.4. Ansteuerung von LED-Ziffernanzeigen 52
1.6.5. Durchgangs- und Isolationsprüfer für Widerstände bis $\geq$100 MΩ 53
1.6.6. NF-Pegelanzeiger mit LED-Spitzenwertanzeige 56
1.6.7. Helligkeits-Modulatorschaltungen mit LED 59
1.6.8. Kabelprüfgerät 64

2. Flüssigkristallanzeigen (LCD) 66
2.1. Physikalische Grundlagen der Flüssigkristalle 67
2.2. Aufbau und Funktion von LCD-Anzeigen 69
2.3. Ansteuerung von LCD-Anzeigen 77

3. Literatur 83

Vorwort

Der vorliegende Band löst den Band 149 der *elektronica*-Reihe *Leuchtdioden und ihre Anwendung* [1], ab.
Während zum damaligen Zeitpunkt die Leuchtdiode für den Amateur noch ein relativ neues Bauelement war, sind Anzeigebauelemente mit Leuchtdioden (LED-Bauelemente) inzwischen in vielen Bauformen und Typen handelsüblich und auch dem Amateur weitgehend vertraut.
Der vorliegende Band soll deshalb vorzugsweise die für den Praktiker wesentlichen Grundlagen und Anwenderinformationen zusammenfassen. Da zwischenzeitlich mit [2] eine weitere Veröffentlichung in dieser Broschürenreihe vorliegt, die ebenfalls LED-Bauelemente eingehend behandelt, wurde hier die Behandlung der LED-Anwendungen gegenüber [1] insbesondere in den Abschnitten mit Schaltbeispielen (von denen viele inzwischen allgemein bekannt sind) stark gekürzt. Neu aufgenommen wurden die inzwischen aus DDR-Fertigung verfügbaren neueren Typen von LED-Bauelementen mit ihren wesentlichsten Daten. Zur weiteren Information insbesondere bezüglich Schaltbeispielen sei auf [3], [4], [5] verwiesen.
Neu aufgenommen wurde ein Abschnitt über Flüssigkristallanzeigebauelemente (LCD-Ziffernanzeigen), in dem Funktionsgrundlagen und die prinzipielle schaltungstechnische Anwendung dieser inzwischen von Digitaluhren und Taschenrechnern her bekannten Anzeigebauelemente so weit erläutert werden, daß dem Praktiker damit die notwendigen Informationen zum eigenen Einsatz von LCD-Bauelementen im Amateurbereich zur Verfügung stehen. Zum Zeitpunkt der Manuskripterarbeitung waren in der DDR ausschließlich mehrstellige LCD-Ziffernanzeigen im Einsatz, die wegen ihrer speziellen Multiplexansteuerung nur zusammen mit den dafür vorgesehenen Taschenrechner- oder Uhrenschaltkreisen sinnvoll anzuwenden sind. Für den Amateureinsatz außerhalb dieser Anwendungsfälle sind diese LCD-Ziffernanzeigen denkbar ungeeignet. Da zum Manuskriptzeitpunkt noch nicht abzusehen war, wann dem Amateur geeignete universell anwendbare LCD-Anzeigen (Einzelziffernanzeigen oder für

Parallelansteuerung geeignete mehrstellige Ziffernanzeigen) verfügbar sein werden, konnte nicht auf konkrete LCD-Typen Bezug genommen werden. Der Abschnitt über LCD-Bauelemente hat deshalb zunächst informatorische Bedeutung und ermöglicht es dem Amateur, alle LCD-Anzeigebauelemente, die keine spezielle Multiplexansteuerung erfordern, sachgerecht anzuwenden.

Nahmitz, im September 1982 *Hagen Jakubaschk*

1. Leuchtdioden (LED)

Halbleiterdioden, die bei Stromdurchgang eine elektromagnetische Strahlung im optischen Bereich aussenden, werden als *Lumineszenzdioden* bezeichnet. Das Maximum der Strahlung kann dabei im infraroten oder im sichtbaren Spektralbereich liegen. Im letzteren Fall (sichtbares Licht) werden Lumineszenzdioden auch *Leuchtdioden* genannt. Abgeleitet von der englischen Bezeichnung *light emitting diode* hat sich für Lumineszenzdioden international die Abkürzung LED durchgesetzt. Im folgenden wird dieses Bauelement mit LED bezeichnet.

1.1. Physikalische und optische Grundlagen der LED

Lichtemittierende Dioden (LED) wandeln elektrische Energie in elektromagnetische Strahlung (Licht) um. Als Grundmaterial verwendet man im allgemeinen das Halbleitermaterial Galliumphosphid (GaP) oder Galliumarsenid (GaAs) oder eine geeignete Kombination beider (GaAsP). Ähnlich wie bei einer üblichen Diode für Gleichrichterzwecke ist auch bei der LED eine Sperrschicht vorhanden, die den Stromfluß vorzugsweise in einer Richtung zuläßt. Während bei üblichen Gleichrichterdioden, in Stromdurchlaßrichtung betrieben, eine gewisse Verlustleistung unvermeidbar ist, die sich aus Durchflußstrom und dabei über der Diode abfallender Durchlaßspannung (Flußspannung) bestimmen läßt und im Halbleiterkristall vollständig als unerwünschte Verlustwärme auftritt, wird bei der LED diese elektrische Leistung zu einem kleinen Teil in Lichtstrahlung umgewandelt. Der überwiegende Teil der elektrischen Leistung wird allerdings auch bei der LED in Verlustwärme umgesetzt. Der Wirkungsgrad liegt je nach LED-Tpy und Herstellungstechnologie sowie Spektralfarbe bei 0,2 ... 2%, bei neueren Diodentypen bis zu 12%. Weitere Einzelheiten kann der Leser aus [2], [3] ersehen.
Auf ein GaAs-, GaAsP- oder GaP-Substratkristall, das Grundmaterial, wird mit speziellen technologischen Verfahren (Flüssigkeitsepitaxie) ähnlich wie bei herkömmlichen Gleichrichterdioden

eine Epitaxieschicht mit zum Substrat gegensätzlicher Leitfähigkeit aufgebracht. Es bildet sich wie bei herkömmlichen Dioden ein Übergangsbereich (Sperrschicht-pn-Übergang) aus, der Diodencharakter hat. Die durch Materialzusammensetzung und Dotierung mit Fremdsubstanzen wie Zink, Phosphor, Stickstoff bewirkte Eigenart dieser Sperrschicht besteht darin, daß ein Teil des die Sperrschicht in Durchlaßrichtung durchfließenden Stromes die Atome im Sperrschichtbereich anregt, wobei Strahlung im sichtbaren oder im infraroten Wellenlängenbereich entsteht. Bild 1.1 zeigt den prinzipiellen LED-Aufbau.

Wichtig für die Anwendung ist zunächst, daß eine LED demzufolge stets als Diode im Durchlaßbereich betrieben wird. In Sperrichtung fließt nur ein sehr geringer, im allgemeinen unter 1 μA liegender Sperrstrom. Dieser Betriebsfall mit in Sperrrichtung angelegter äußerer Spannung — bei dem keine Strahlung entsteht — ist bei LED ohne Interesse und wegen der meist sehr niedrigen zulässigen Sperrspannung auch nur bedingt möglich. In Durchlaßrichtung ist der maximal zulässige Stromfluß (Größenordnung wenige zehn Milliampere) gegeben durch die inneren Verlustwiderstände der Kristallstruktur und die demzufolge zwischen den LED-Anschlüssen auftretende Durchlaßspannung (Flußspannung; Größenordnung 1,5 ... 3 V). Die aus beiden Größen resultierende Leistung darf den Kristall nicht bis zur Zerstörung erhitzen. Es liegen also insoweit ähnliche Verhältnisse vor, wie sie dem Praktiker von der normalen Gleichrichterdiode her geläufig sind. Im Gegensatz zu dieser ist das Diodenverhalten bei LED nicht primär beabsichtigt, sondern ein durch die licht-

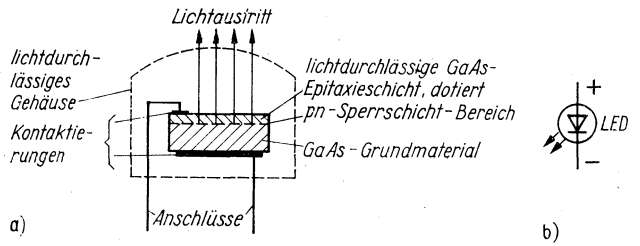


Bild 1.1 a — Prinzipieller Aufbau einer Lumineszenzdiode (LED), b — Schaltzeichen einer LED

erzeugende Sperrschicht bedingter Nebeneffekt. Damit das im Sperrschichtbereich entstehende Licht aus dem Kristall austreten kann, muß die aufgebrachte Epitaxieschicht extrem dünn gehalten werden, um bei den verwendeten Halbleitermaterialien noch genügend lichtdurchlässig zu sein. Hier und in der Tatsache, daß das Substrat das nach rückwärts aus der Sperrschicht austretende Licht großenteils absorbiert, was verringerten Wirkungsgrad bedeutet, liegen einige der zahlreichen technologischen Probleme bei der LED-Herstellung. Die Epitaxieschicht selbst wird, um weitere Lichtverluste zu vermeiden, nur am Rand kontaktiert. Der LED-Kristall wird aus technologischen Gründen stets möglichst klein gehalten. Er hat bei normalen Anzeige-LED eine Fläche von etwa 1 mm^2 und wird abschließend in einem Gehäuse verkapselt, das bei einigen speziellen Bauformen ein Metallgehäuse mit Lichtaustrittsfenster ist. Für die üblichen preiswerten Anzeige-LED benutzt man lichtdurchlässige Kunststoffvergußmassen als Verkapselung, die entweder farblos oder zur Kontraststeigerung in der dem Strahlungsmaximum entsprechenden Leuchtfarbe eingefärbt sind.

Die Farbe der Lichtstrahlung wird durch die dominierende Wellenlänge bestimmt. Außer dieser strahlen LED noch eine oder mehrere andere Wellenlängen (Nebenmaxima) mit allerdings erheblich geringerer Energie ab. Das Licht einer LED ist daher strenggenommen nicht monochrom (einfarbig), kann aber vom Amateur als annähernd monochrom angesehen werden. Durch geeignete Dotierung der LED-Materialien kann das Strahlungsmaximum im extrem roten bis infraroten Bereich liegen oder auch im grünen Spektralbereich. Wenn mehrere Rekombinationsmechanismen [2] und demzufolge mehrere Lichtwellenlängen dominierend auftreten, lassen sich Zwischenfarben (Gelb, Orange) erzielen. Alle bisher praktisch eingesetzten LED liegen (von Infrarot-LED abgesehen) im roten bis grünen Spektralfarbbereich. Lediglich Silziumkarbid und speziell dotiertes GaAs mit Wandlerphosphoren ergeben blaues Licht. Die Lichtausbeute dieser LED liegt aber (trotz langdauernder intensiver Forschungsarbeiten auf diesem Gebiet in den vergangenen Jahren) noch immer mindestens 1 ... 3 Größenordnungen unter der der anderen LED, so daß blauleuchtende LED bisher noch nicht über das Versuchsstadium hinausgekommen sind.

Wie erwähnt, wird der LED-Kristall möglichst klein gehalten.

Zur besseren Erkennbarkeit bildet man die LED-Gehäuse dann oft so aus, daß sie optisch streuend wirken und dabei in einem möglichst großen Betrachtungswinkel die scheinbare Leuchtfläche der LED bis auf nahezu den Gehäusedurchmesser vergrößern. Das wird u. a. durch Kuppenlinsenform des Gehäuses und bei einigen LED-Typen zusätzlich durch Montage des Kristalls in einer kleinen, die Strahlung bündelnden „Hohlspiegel"-Halterung (in [2] näher gezeigt) erreicht.

Der in Bild 1.1 schematisch dargestellte Kristallaufbau kann in seiner Geometrie abgewandelt werden. Beispielsweise ist das Aufbringen mehrerer streifenartiger Strukturen (von wenigen Millimetern Länge) als getrennte Epitaxieschichten, die auch getrennt kontaktiert werden, möglich. Technologisch kann das nach einem Maskenverfahren (ähnlich der für Transistoren und Schaltkreise bekannten Planartechnologie) geschehen. Mit solchen Bauformen lassen sich dann bei direkter Betrachtung der geeignet angeordneten Streifenstrukturen Ziffern und Zeichen darstellen, wie später noch gezeigt wird. Die Größe der auf diese Weise darstellbaren Zeichen beträgt ohne Lupenaufsatz höchstens etwa 3 mm. Für größere Zeichendarstellungen benutzt man einzelne LED-Kristallsysteme, die in geeigneter Weise auf einer Grundplatte angeordnet werden. Durch aufgesetzte reflektierende (hohle oder kunststoffgefüllte) Lichtleitsysteme („Lichtschächte") gewinnt man streifenförmige Leuchtfelder, die an der Gehäuseoberfläche wieder die — dann erheblich größer realisierbaren — Ziffern und Zeichen ergeben. Näheres zu diesen Bauformen zeigen auch [2], [3].

Die Helligkeit einer LED ist abhängig vom durchfließenden Strom und läßt sich über diesen beeinflussen. Die Helligkeitsänderung geschieht dabei nahezu trägheitslos. Für spezielle Lichtmodulations- und Signalübertragungszwecke ausgelegte (üblicherweise dann im Infrarotbereich arbeitende) LED können daher Modulationsstromschwankungen im Frequenzbereich bis zu einigen Gigahertz noch mit gutem Wirkungsgrad in Lichthelligkeitsschwankungen umsetzen. Sie werden u. a. für Optokoppler (optoelektronische Signalkoppler) benutzt. Für experimentelle Zwecke sind jedoch auch übliche Anzeige-LED noch bis zu einigen 100 kHz modulierbar. Für den Amateur geeignete Modulatorschaltungen sind u. a. in [1], [4], [5] zu finden. Im praktischen Betrieb als Anzeigeorgan wird die Helligkeit der LED somit vom gewählten Betriebsstrom bestimmt. Der Zusammenhang zwi-

schen Stromstärke und subjektiv empfundener Helligkeit ist dabei nicht linear [2]. Wird z. B. der Strom durch eine LED vom maximal zulässigen Wert auf die Hälfte verringert, so sinkt die scheinbare Helligkeit verhältnismäßig weniger ab. Es ist daher in sehr vielen Fällen im Hinblick auf LED-Lebensdauer und Gesamtstromverbrauch des mit LED bestückten Geräts sinnvoll, wenn man die LED mit geringerem als dem vom Hersteller angegebenen Strom betreibt bzw. den Strom nicht höher bemißt, als für gute Erkennbarkeit des Leuchtens notwendig. Je nach Umgebungshelligkeit wird man meist mit Betriebsströmen um 5 ... 15 mA auskommen. Weitere Angaben dazu findet der Leser in [2], [3].

1.2. Bauformen von LED

LED für Anzeigezwecke werden heute fast ausschließlich als plastverkapselte Typen produziert. Zu den ersten in der DDR produzierten Typen (inzwischen veraltet, außer Produktion) gehörten die Typen *VQA 11* (in [1] enthalten) und *VQA 12* (aus Restbeständen beim Amateur noch weitverbreitet; Bild 1.2). Sie wurden inzwischen von den 5-mm-LED-Typen *VQA 13* (rotleuchtend), *VQA 23* (grün), *VQA 33* (gelb) abgelöst, deren Abmessungen Bild 1.3 zeigt. Diese LED haben diffuse (lichtstreuende) Gehäuseeinfärbung (*VQA 13*: weiße Farbe). Hinzu kommen die Ergänzungstypen *VQA 16* (rot), *VQA 26* (grün), *VQA 36* (gelb) und *VQA 46* (orange), die annähernd bauformgleich sind, aber klare Gehäuseeinfärbung haben und damit (in geringerem Betrachtungswinkel) einen visuell anderen Eindruck ergeben.

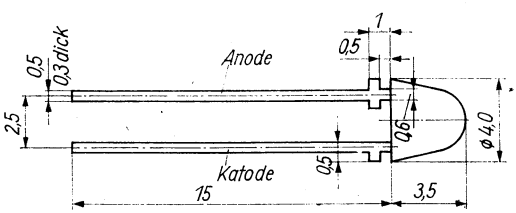


Bild 1.2 Bauform und Abmessungen der Leuchtdiode *VQA 12*

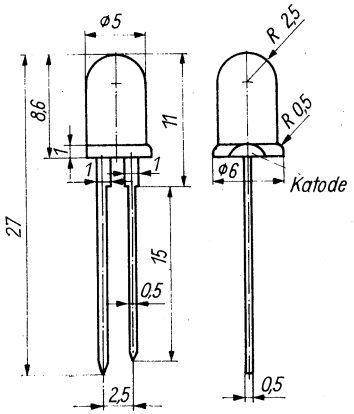


Bild 1.3
Bauform und Abmessungen der Leuchtdioden *VQA 13/23/33*

Neben diesen 5-mm-Standardausführungen sind die (nahezu datengleichen) LED in Gehäusen mit 3 mm Durchmesser unter den Typenbezeichnungen *VQA 17* (rot, diffus), *VQA 27* (grün, diffus), *VQA 37* (gelb, diffus) und *VQA 47* (orange, diffus) verfügbar. Als Sonderbauformen gelten die (aufreihbaren und insbesondere für Lichtbandskalen u. ä. Anwendungen geeigneten) Typen *VQA 14/24/34* und *VQA 18/28/38* (jeweils rot/grün/gelb, diffus) sowie *VQA 15/25/35* (klares Gehäuse, wobei das der rotleuchtenden *VQA 15* weiß-klar ist).
Bild 1.4 zeigt die Abmessungen der letztgenannten Serie.

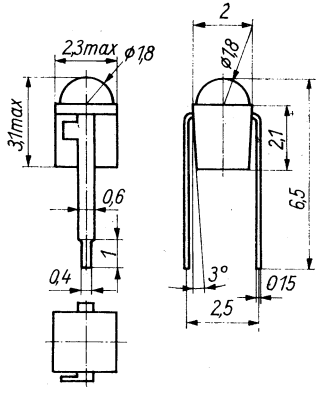


Bild 1.4
Bauform und Abmessungen der Leuchtdioden *VQA 15/25/35*

Als Infrarot-LED für spezielle Zwecke (Signalübertragungen; Lichtschranken, Anwendungsbeispiele zeigt u. a. [4]) stehen — in weiß-klarem Gehäuse — die Typen *VQ 110 A*, *VQ 110 B* und *VQ 110 C* sowie für stärkere Strahlungsleistungen *VQ 120 A*, *VQ 120 B* und *VQ 120 C* zur Verfügung. Der der Typenkennzahl nachgesetzte Buchstabe kennzeichnet (vergleichbar mit der bei Transistoren angewendeten Kennzeichnungsart für Stromverstärkungsgruppen) den Wirkungsgrad (abgestrahlte Energie bei gegebenem Strom). Bild 1.5 zeigt die Abmessungen der *VQ 110*, die auch für den Amateur viele Anwendungsmöglichkeiten bietet. Infrarot-LED strahlen im Betrieb keinen sichtbaren Lichtanteil aus, ihre Funktion läßt sich also mit bloßem Auge nicht feststellen. Abgesehen von den mit 50 mA (*VQ 110*) bzw. 100 mA (*VQ 120*) belastbaren Infrarottypen sind alle im sichtbaren Bereich arbeitenden LED unabhängig von ihrer Gehäusebauform und Größe annähernd datengleich, insbesondere hinsichtlich der maximalen Strombelastbarkeit (20 mA). Sie unterscheiden sich — wie noch gezeigt wird — gemäß ihrer Leuchtfarbe im wesentlichen nur in Durchlaßspannung und Helligkeit (Wirkungsgrad); der Amateur darf sich deshalb durch unterschiedliche Gehäusegrößen nicht zu der Annahme verleiten lassen, daß eine LED größerer Bauform auch mit höherem Strom belastbar sei!
Wie schon im vorigen Abschnitt erwähnt, werden für Ziffern- und Zeichenanzeigen mehrere LED in einem Gehäuse zu den von Taschenrechnern und Uhren bekannten Ziffernanzeigeelementen

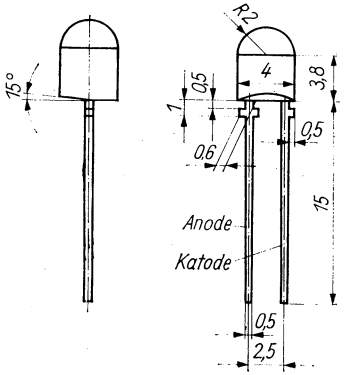


Bild 1.5
Bauform und Abmessungen der Infrarot-LED *VQ 110*

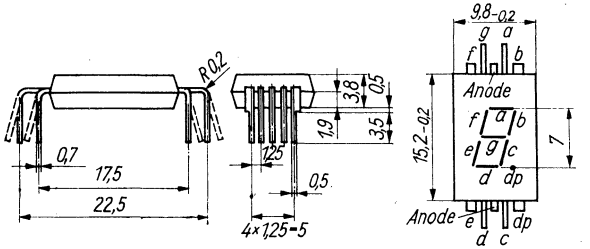


Bild 1.6 Bauform, Abmessungen und Anschlußlage der 7-Segment-Ziffernanzeige *VQB 71*

vereinigt. Dafür gibt es mehrere Möglichkeiten, die im folgenden nur kurz umrissen werden ([2], [3] gehen darauf näher ein). Zu den ersten in der DDR gefertigten Ziffernanzeigen gehörte die (veraltete, aber in Amateurkreisen noch weitverbreitete und deshalb nochmals aufgeführte) 7-Segment-Einzelziffernanzeige *VQB 71*, deren Abmessungen, Segmentanordnung und Anschlußlage Bild 1.6 zeigt. Die einzelnen Leuchtsegmente a ... g bestehen aus je 2 in Serie geschalteten streifenförmigen LED-Chips, der Dezimalpunkt dp aus einem einzelnen annähernd punktförmigen LED-Chip. Die einzelnen Chips werden auf eine Keramikgrundplatte aufgebracht, kontaktiert, und das Ganze wird in rotgefärbter Kunststoffmasse verkapselt. Alle LED-Chips sind anodenseitig parallelgeschaltet und die Katoden einzeln herausgeführt. In [1] und [5] findet der Leser dazu nähere Angaben. Zu beachten ist, daß aus herstellungstechnischen Gründen 2 Anodenanschlüsse herausgeführt werden, die außen zu verbinden sind. Das gilt auch für den — zur Vorzeichendarstellung geeigneten — Paralleltyp *VQB 73* (Bild 1.7), der ebenso aufgebaut ist.

Eine monolithische Ausführung der Einzelziffernanzeige (alle LED-Segmente sind im Maskenverfahren auf einem gemeinsamen LED-Chip aufgebracht) ist die *VQB 37* (Bild 1.8). Im Unterschied zur *VQB 71* haben in diesem Fall alle LED eine gemeinsame Katode, während die Anoden einzeln herausgeführt sind. Die *VQB 37* ist deshalb nicht zur unmittelbaren Ansteuerung mit den bekannten Dekoderschaltkreisen *D 146/D 147* [5] geeignet. Da die auf einem Kristall angeordneten Leuchtstreifen sehr klein

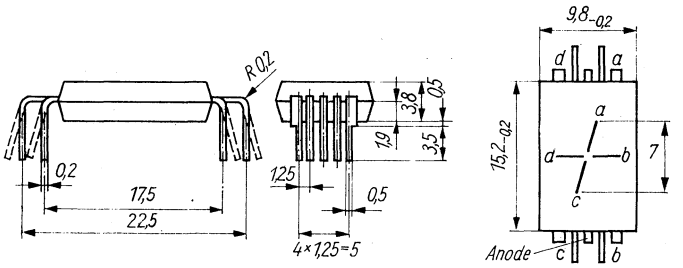


Bild 1.7 Bauform und Abmessungen der Zeichenanzeige *VQB 73*

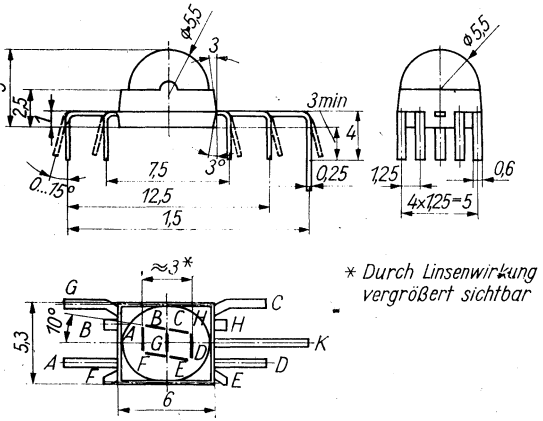


Bild 1.8 Bauform, Abmessungen und Anschlußlage der 7-Segment-Ziffernanzeige *VQB 37*

sind, wird der Chip in einem Kunststoffgehäuse mit aufgepreßter Kuppenlinse, die vergrößernd wirkt, untergebracht, wie Bild 1.8 erkennen läßt. Die scheinbare Zifferngröße beträgt dadurch 3 mm. Alle bisher genannten Typen sind rotleuchtend.

Für Taschenrechneranzeigen und ähnliche Zwecke werden derartige 7-Segment-Anzeigesysteme zu mehrstelligen Ziffernanzeigen zusammengefaßt, bei denen — um die Gesamtzahl der Anschlüsse in vertretbaren Grenzen zu halten — die Segmente a ... g und dp aller Ziffernstellen intern parallelgeschaltet sind.

Die zur jeweiligen Ziffernstelle gehörende Gegenelektrode (je nach Typ Katode oder Anode) ist getrennt herausgeführt. Bei diesen Anzeigen ist eine Darstellung unterschiedlicher Ziffern nur im Zeitmultiplexverfahren (schnell aufeinanderfolgendes Einschalten jeweils nur einer Ziffer über die zugehörige Gegenelektrode) möglich, was entweder spezielle (dem Amateur kaum verfügbare) Schaltkreise oder — beim Aufbau einer Multiplexsteuerung mit handelsüblichen Schaltkreisen oder Transistoren — sehr bauelementaufwendige Schaltungen erfordert. Die Anwendung solcher mehrstelliger Ziffernanzeigen beschränkt sich daher auf den Betrieb in Taschenrechnern oder Digitaluhren zusammen mit speziell dafür geeigneten Rechner- oder Uhrenschaltkreisen. Für den Amateur finden diese Anzeigedisplays wegen ihrer komplizierten Ansteuertechnik kaum einen sinnvollen Einsatzzweck, weshalb auf diese Typen nicht näher eingegangen wird. Dazu gehören neben dem (veralteten) Typ *VQC 32* (Daten in [1]) und ähnlichen auch der Typ *VQC 10* (4stellige alphanumerische Anzeige, rotleuchtend).

Für größere Ziffernhöhen bei ein- und mehrstelligen Anzeigen hat sich international die *Lichtschachttechnik* durchgesetzt, die im vorigen Abschnitt bereits erwähnt wurde. Bild 1.9 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines einzelnen Leuchtsegments einer solchen Anzeigeeinheit (Näheres dazu in [2], [3]). Auf einer kleinen Leiterplatte, aus der rückseitig Anschlußdrähte herausführen, ist ein „normaler", im allgemeinen quadratischer LED-Kristall (Chip) direkt aufgesetzt, der sich von den Chips üblicher Anzeige-LED nur durch besonders guten Wirkungsgrad (große Helligkeit) auszeichnet. Ein umgebendes Reflektorgehäuse schafft um den Chip einen Hohlraum mit stark reflektierender Wandung, der etwa die

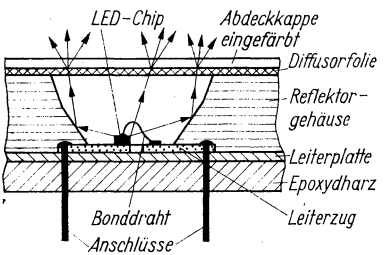


Bild 1.9
Schnitt durch ein Reflektor-Ziffernanzeigesystem mit hohlem Lichtschacht

Bündelungsfunktion eines Hohlspiegels ausübt. Die zur Sichtseite abdeckende diffuse Folie wird daher annähernd gleichmäßig beleuchtet, sie hat die für die Anzeige benötigte Streifenform. Derartige Ziffernanzeigen, bei denen der Aufbau nach Bild 1.9 insgesamt 8fach (7 Segmente A ... G und Dezimalpunkt dp) je Ziffernstelle vorhanden ist, können prinzipiell in allen auch bei Anzeige-LED verfügbaren Leuchtfarben und je nach Helligkeit und Wirkungsgrad bis zu Ziffernhöhen um etwa 20 mm hergestellt werden. In der DDR werden nach dieser Technologie die Typen *VQE 21*, *VQE 22*, *VQE 23* und *VQE 24* gefertigt, deren Segmentanordnung und Abmessungen Bild 1.10a zeigt. Bild 1.10b gibt die zugehörigen Anschlußlagen an. Alle 4 Typen sind grünleuchtend mit 12 mm Zifiernhöhe und haben eine grüne Kontrastfolieabdeckung. *VQE 21* (gemeinsame Katode) und *VQE 22* (gemeinsame Anode) gestatten rechts die Darstellung einer beliebigen Ziffer sowie in der linken Stelle der Ziffer „1" und eines Vorzeichens „+" oder „−" ($1^1/_2$ digit), während *VQE 23* (gemeinsame Katode) und *VQE 24* (gemeinsame Anode) unter Verzicht auf das Vorzeichen 2 beliebige Ziffern darstellen können (2 digit). Mit diesen 4 Bauelementtypen kann der Amateur daher jede Auf-

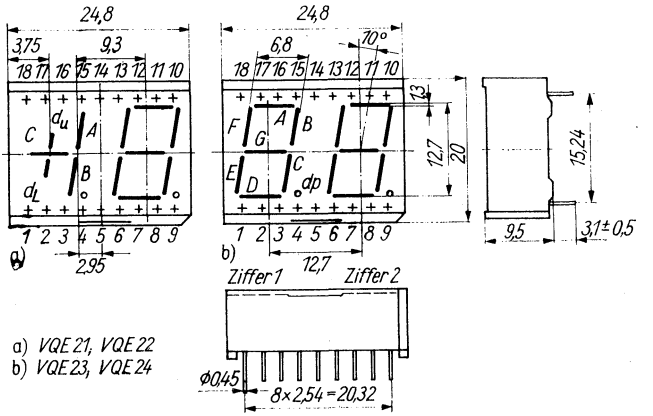


Bild 1.10 a — Bauform und Abmessungen der 7-Segment-Ziffernanzeigen (Lichtschachtsystem) *VQE 21/22/23/24*; Bild 1.10b siehe Seite 82

gabenstellung vorteilhaft lösen, ohne dabei an bestimmte vorgegebene Ansteuerungsvarianten gebunden zu sein. Aus dem inneren Aufbau dieser Anzeigentypen ergibt sich, daß jedes einzelne Leuchtsegment annähernd die gleichen Daten hat, wie sie für grünleuchtende einzelne Anzeige-LED geläufig sind. Dieses Bauelement entspricht dem derzeitigen internationalen Stand für LED-Ziffernanzeigen.

1.3. Die wichtigsten Kenndaten für den Amateur

Für den Amateur genügt im allgemeinen die Kenntnis von *Durchlaßspannung (Flußspannung)*, die zugleich die minimal mögliche Speisespannung festlegt, und *Durchlaßstrom (Flußstrom)*. Insbesondere der maximal zulässige Durchlaßstrom darf nicht überschritten werden, da das außer zu sofortigem Ausfall des Bauelements auch zu starker Verkürzung der Lebensdauer führen kann. Da der maximale Durchlaßstrom durch die maximal zulässige Erwärmung der Kristallsperrschicht begrenzt wird, läßt der Impulsbetrieb — der für den Amateur kaum Bedeutung hat und vorzugsweise bei Multiplexansteuerungen von Interesse ist — kurzzeitig einen höheren Durchlaßstrom zu als den — für den Amateur als Kenngröße wichtigen — maximalen Dauerdurchlaßstrom. Letzterer liegt für alle üblichen Anzeige-LED (und für nach dem Lichtschachtprinzip aufgebaute Ziffernanzeigen) bei maximal etwa 20 mA, bei einigen Typen auch niedriger. Der Amateur sollte, wenn ihm die Herstellerdaten nicht bekannt sind, LED vorsorglich mit maximal 10 ... 15 mA (nicht mehr, als für ausreichende Helligkeit notwendig) betreiben.
Da eine LED, von ihrer elektrischen Funktion her gesehen, eine übliche Diode ist, darf sie niemals ohne strombegrenzenden Vorwiderstand (oder andere strombegrenzende Maßnahmen) direkt an eine Betriebsspannung gelegt werden! Bild 1.11 zeigt die typische mittlere Diodendurchlaßkennlinie für eine rotleuchtende und eine grünleuchtende LED. Für gelb- und orangeleuchtende Typen liegt die Kennlinie je nach Kristallmaterial im Bereich nahe der Mitte zwischen den für Rot und Grün angegebenen Kennlinien bis nahe dem Verlauf der Grünkennlinie. Bild 1.11 läßt erkennen, daß für einen mittleren Betriebsstrom von 10 mA (in vielen Fällen optimal) bei rotleuchtenden Typen mit einer

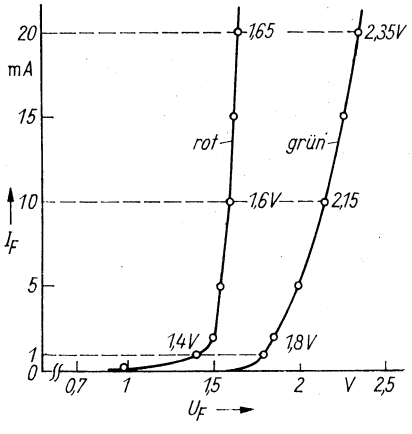


Bild 1.11
Typische Durchlaßkennlinien für rot- und grünleuchtende LED. Einzelheiten siehe Text

Durchlaßspannung von etwa 1,6 V, bei grünen LED mit etwa 2,15 V zu rechnen ist. Insbesondere bei gelb- und grünleuchtenden LED können die Kennlinien relativ stark streuen; bei grünen LED können bis 3,5 V Durchlaßspannung auftreten (höhere Werte sind unrealistisch und lassen auf mangelhafte oder bereits geschädigte Exemplare schließen!). Die LED-Kennlinie ist ihrem Verlauf nach, wie nicht anders zu erwarten, eine typische Halbleiterdiodenkennlinie, die sich von der Kennlinie üblicher Siliziumdioden im wesentlichen durch ihre höhere Schwellenspannung, bei der der Stromfluß einsetzt, unterscheidet (bei Si-Dioden wie bekannt etwa 0,6 V, bei LED je nach Leuchtfarbe 0,9 ... 1,8 V). Unterhalb der Schwellenspannung ist somit kein Betrieb möglich. Wie bei üblichen Gleichrichterdioden sind auch die LED-Kennlinienwerte temperaturabhängig (Näheres dazu in [1], [2], [3]), was für den praktischen Einsatz einer LED allerdings kaum Bedeutung hat, da die LED ja mit einem von außen her konstantgehaltenen Flußstrom arbeitet und die Speisespannung mit Rücksicht auf die (üblicherweise mit Vorwiderstand realisierte) Strombegrenzung ohnehin um einen ausreichenden Betrag über der LED-Flußspannung liegen muß. Der Temperaturkoeffizient der Durchlaßspannung einer LED ist allerdings merklich geringer als der einer üblichen Si-Diode, was im Zusammenhang mit der typenspezifischen Durchlaßspannung interessante Einsatzmöglichkeiten für LED als Referenzspannungsquellen (gün-

stiger „Ersatz" für Z-Dioden oder Si-Dioden in dem vom Amateur sonst schwer realisierbaren Spannungsbereich zwischen etwa 1 V und etwa 3 V) gestattet. Beispiele dafür bieten u. a. [1] und [5].

Ebenfalls von der Kristalltemperatur abhängig ist (in relativ geringem, für den Amateurbereich uninteressantem Maß) der Wirkungsgrad und damit die Helligkeit der LED bei gegebenem Strom. Dazu findet der Leser in [2], [3] nähere Angaben. Der Amateur hat bei der Anwendung von LED im allgemeinen keinerlei temperaturbedingte Wertänderungen zu berücksichtigen, weshalb auf nähere Angaben verzichtet wird. Bevor abschließend die wichtigsten Kenndaten handelsüblicher LED angegeben werden, seien einige durchschnittliche Werte genannt, mit denen der Amateur auch bei LED-Typen fremder Herkunft oder bei unbekannten Daten rechnen kann. Die zu erwartende Durchlaßspannung läßt sich danach nach Bild 1.11 für die jeweilige LED-Farbe etwa abschätzen. Die genaue Messung am gegebenen LED-Exemplar ist bei Einspeisen eines konstanten Stromes von 10 mA problemlos möglich. Aus der Differenz zwischen Durchlaßspannung und gegebener Speisespannung kann dann für das jeweilige LED-Exemplar der erforderliche Vorwiderstand berechnet werden.

Ein Feststellen des zulässigen maximalen Durchlaßstroms ist allerdings mit Amateurmitteln kaum möglich. Bei unbekannten LED sollte deshalb ein Betriebsstrom von höchstens 15 mA für normale Anzeige-LED (unabhängig von der Gehäusegröße) und von 10 mA je Segment bei Einzelziffernanzeigen nicht überschritten werden. Weniger Bedeutung für den Amateur hat die maximal zulässige LED-Sperrspannung, da die LED normalerweise ohnehin nicht in Sperrpolung betrieben wird. Wo das in speziellen Schaltungen oder bei Gerätestörungen doch vorkommen kann, sollte einem Überschreiten der maximalen LED-Sperrspannung durch geeignete Schaltungsmaßnahmen vorgebeugt werden. Die maximal zulässige Sperrspannung einer LED ist — wie auch bei anderen Diodenarten — stark exemplarabhängig und kann zwischen 4 ... 25 V liegen. Da sie oft nicht bekannt ist und sich mit Amateurmitteln auch nicht problemlos messen läßt, sollte der Amateur für alle LED-Arten grundsätzlich die maximale Sperrspannung mit nur etwa 4 V annehmen.

Höhere Durchlaßströme als etwa 20 mA sind — außer bei wenigen

speziellen LED-Typen — meist nur bei Infrarot-LED zulässig (*VQ 110:* 50 mA, *VQ 120*: 100 mA Dauerstrom). Bei einigen Bauformen von Ziffernanzeigen (Hybridausführungen wie z. B. *VQB 71, VQB 73*) ist zu beachten, daß intern 2 LED-Chips je Segment in Serie liegen, was die materialtypische Schwellenspannung am äußeren Segmentanschluß verdoppelt (*VQB 71, VQB 73* : Durchlaßspannung maximal etwa 3,6 V; jedoch Dezimalpunkt — aus 1 Chip bestehend — nur etwa 1,6 ... 1,8 V), so daß sich für rotleuchtende LED ungewohnt hohe Werte ergeben. Der je Segment zulässige maximale Durchlaßstrom für *VQB 71* und *VQB 73* beträgt 15 mA (Normalbetrieb: 10 mA).

Die in Datenblättern gelegentlich angegebene LED-Maximalverlustleistung (P_{tot}) hat für den Amateur keine Bedeutung, da sie nicht überschritten wird, wenn man die LED in jedem denkbaren Betriebsfall unterhalb des maximal zulässigen Durchlaßstroms, der damit die für den Anwender wichtigste Kenngröße ist, betreibt.

Die Daten unbekannter LED lassen sich relativ einfach ermitteln, lediglich bezüglich des maximal zulässigen Durchlaßstroms ist der Amateur im Fall fehlender Herstellerangaben auf die vorn genannten mittleren Grenzwerte — im Zweifelsfall etwa 10 mA — als Annahme angewiesen. Man erprobt zunächst die richtige Polung mit einer improvisierten Prüfschaltung nach Bild 1.12a. Die Speisespannung von 4,5 V übersteigt ausreichend die höchste zu erwartende Schwellenspannung der LED und ist darüber hinaus als Sperrspannung noch vertretbar. Der Widerstand begrenzt den Flußstrom auf ein für alle LED-Typen unbedenkliches Maß. Aufleuchten zeigt die richtige Polung an (lediglich bei Infrarot-LED

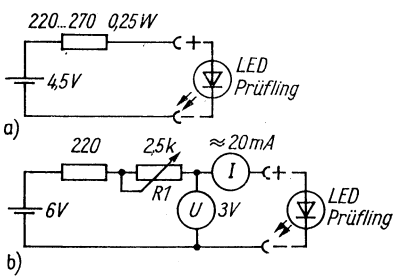


Bild 1.12
a — einfache Prüfschaltung zur Anschlußermittlung bei LED,
b — einfache Meßschaltung zur Aufnahme der wichtigsten LED-Kenndaten. Für U und I kann ein Vielfachmesser verwendet werden

muß der Stromfluß mit eingeschaltetem Strommesser registriert werden). Leuchtet die LED bei keiner Polung auf und ergibt die nachstehend beschriebene überschlägige Datenbestimmung Werte, die denen normaler rotleuchtender LED nahekommen, so kann es sich, wenn die unbekannte LED ein farbloses klares (in Spezialfällen auch tiefrot bis schwarz eingefärbtes) Gehäuse hat, um eine Infrarot-LED handeln.

Exemplardaten und geeignete Betriebswerte kann man leicht mit einer Schaltung nach Bild 1.12b ermitteln. Mit *R1* wird der Strom allmählich gesteigert, und man trägt die zum jeweiligen Strom (bei *I* gemessen) zugehörige Spannung (bei *U* gemessen) gemäß Bild 1.11 auf. Der Vergleich des Kennlinienverlaufs mit den mittleren Verläufen nach Bild 1.11 läßt im Zusammenhang mit der Leuchtfarbe auch Rückschlüsse darauf zu, ob die unbekannte LED einwandfrei oder u. U. geschädigt ist (durch Überlastung oder undichte Gehäuse geschädigte LED erkennt man außer an nachlassender Helligkeit an merklich erhöhter Flußspannung und auffallend flacherem Kennlinienverlauf; solche Exemplare ergeben meist nach kurzer Betriebszeit Totalausfall mit Hochohmigkeit).

LED sind stets zum direkten Einlöten bestimmt; Steckfassungen erübrigen sich (auch bei Ziffernanzeigen) im allgemeinen. Darüber hinaus gelten für LED dieselben Einbau- und Lötvorschriften wie für Transistoren und übliche Dioden. Scharfes Abknicken der LED-Anschlußfahnen ist jedoch insbesondere bei kunststoffverkapselten Typen (die zur Verkapselung benutzten Plastmaterialien sind sehr spröde und brechen leicht aus) unbedingt zu vermeiden.

Abschließend einige Angaben zu den wichtigsten Kenngrößen der zuvor genannten LED-Typenreihen. Da sie, sofern für den Amateur von Interesse, weitgehend übereinstimmen, werden sie zusammenfassend aufgeführt. Für sämtliche LED-Bauformen kann der Amateur eine maximale Sperrspannung von etwa 4 V zulassen. Die Durchflußspannung hängt, unabhängig von der Bauform, von der Leuchtfarbe ab und beträgt (stets bei 10 mA Flußstrom gemessen) für rotleuchtende LED etwa 1,6 V; orange- und gelbleuchtende LED etwa 1,7 ... 2,5 V — Mittelwert etwa 2,1 V —; grünleuchtende LED etwa 2,2 ... 3,0 V (Werte über 3,5 V sind stets unnormal!). Infrarot-LED liegen meist noch unter 1,5 V. Diese Werte gelten ebenso auch für LED-Ziffernanzeigen, ins-

besondere für *VQB 37* und *VQE 21 ... VQE 24* (beachte Abweichung bei *VQB 71* und *VQB 73*: für Segmente a ... g doppelter Wert, da 2 LED-Chips je Segment in Serie vorhanden!). Als Grenzwert für den Durchlaßstrom können bei den Anzeige-LED aller VQA-Serien 20 mA angesetzt werden; Normalbetriebsstrom maximal 15 mA. Die gleichen Werte gelten für *VQE 21 ... VQE 24*. Für *VQB 71, VQB 73* beträgt der Grenzwert 15 mA; Betriebsstrom normal nicht über 10 mA. *VQB 37*: Grenzwert 5 mA. *VQ 110*: 50 mA; *VQ 120*: 100 mA.
Für Impulsstrombetrieb (Multiplexansteuerungen und spezielle Betriebsweisen etwa in Blinkschaltungen usw.) liegen kompliziertere Verhältnisse vor, dafür muß auf die detaillierten Datenblätter des jeweiligen Herstellers verwiesen werden. Grundsätzliches dazu ist wiederum in [2], [3] enthalten.

1.4. Grundsätzliche Schaltungsweise von LED

1.4.1. Strombegrenzung

Wie schon im Zusammenhang mit Bild 1.11 erwähnt, muß die LED mit Vorwiderstand betrieben werden; Bild 1.13 zeigt das. Der für R_V erforderliche Wert hängt außer von den LED-Betriebsdaten von der jeweiligen Betriebsspannung U_b ab und läßt sich nach der in Bild 1.13 angegebenen Gleichung leicht bestimmen. Man setzt I_D mit 10 ... 15 mA und U_D für rotleuchtende Dioden mit 1,6 V an; für andersfarbige Dioden entsprechend deren Flußspannung (s. Bild 1.11). R_V ermöglicht die Anpassung an jede beliebige Spannung U_b, sofern diese genügend weit über dem Wert von U_D liegt. Bei großer Differenz zwischen U_b und U_D wird der Strom I_D und damit die Belastung der LED

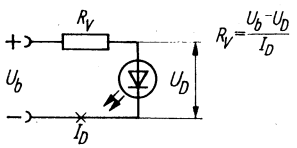


Bild 1.13
Prinzipielle Betriebsweise der LED mit Vorwiderstand R_V zur Strombegrenzung. Für I_D kann man bei unbekannten LED etwa 10 mA einsetzen; U_D kann nach Bild 1.12b bestimmt werden

vorwiegend durch Rv bestimmt. Je nach Rv sind dann entsprechend große Schwankungen der Betriebsspannung Ub zulässig. Wenn man I_D mit beispielsweise 10 mA festlegt und die maximale Belastung der LED bis 20 mA zulässig ist, darf I_D annähernd im Verhältnis 1:2 ... 2:1 abweichen (etwa 5 mA ergeben im ungünstigsten Fall bei modernen LED meist noch genügende Erkennbarkeit). Liegt allerdings Ub nur wenig höher als U_D, so verringert sich Rv sehr, und dann besteht bereits bei gering ansteigender Speisespannung Ub die Gefahr, daß der maximal zulässige LED-Strom überschritten wird. Allzu geringe Rv-Werte sollte man aus diesem Grund vermeiden, falls Ub nicht stabilisiert ist. Als Faustregel bei unstabilisierter Betriebsspannung Ub kann gelten: Es sollte wenigstens $U\text{b} \geq 2 \cdot U_D$ und $I_D \leq 0{,}7 \cdot I_{Dmax}$ sein. Falls Ub aus einer gut stabilisierten Spannung (Beispiel: 5-V-Speisespannung in TTL-bestückten Geräten) abgeleitet wird, kann man jedoch Rv kleiner halten (Mindestwert etwa 50 ... 70 Ω) und I_D nötigenfalls nahe dem zulässigen Grenzwert wählen. Zu beachten ist die zulässige maximale Sperrspannung der LED für den Fall, daß Ub mit falscher Polung auftreten kann. Wird mit Falschpolung gerechnet und ist Ub größer als etwa 4 V, dann sollte ein Verpolungsschutz vorgesehen werden, der sehr einfach aus einer antiparallel zu LED geschalteten Diode beliebigen Typs besteht (Bild 1.14, dort V2). Bei Falschpolung überbrückt V2 die Leuchtdiode V1, wobei Rv dann strombegrenzend für V2 wirkt. Diese Schaltungsweise ist zweckmäßiger als eine Diode in Serie mit Rv und LED, deren Flußspannung sich zur LED-Flußspannung U_D addieren und damit zu höherer Ub oder unerwünscht niedrig dimensioniertem Rv zwingen würde.

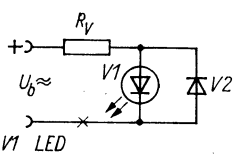


Bild 1.14
Parallelschaltung einer Diode V2 zur LED V1 zum Vermeiden von Überlastungen bei Sperrpolung. Diese Schaltung kann auch für Wechselspannungsbetrieb verwendet werden

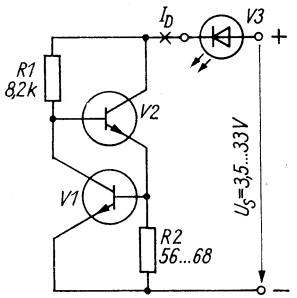
1.4.2. Betrieb der LED mit Wechselspannung

Die Schaltung nach Bild 1.14 eignet sich nicht nur als Verpolungsschutz für die LED, sondern ermöglicht auch ihren Betrieb an einer Wechselspannung. *R*v wird ebenfalls nach der Gleichung entsprechend Bild 1.13 bemessen. Die LED leuchtet dabei nur in einer Wechselspannungshalbwelle auf, die andere Halbwelle wird über V2 abgeleitet. Dadurch ergibt sich jedoch keine verminderte Helligkeit der LED, sondern lediglich ein (bei Frequenzen oberhalb etwa 30 Hz nicht mehr sichtbares) Flimmern. Der LED-Strom darf bei dieser Schaltungsweise nicht höher angesetzt werden als bei Gleichstrombetrieb nach Bild 1.13! Zu beachten ist, daß bei *U*b entsprechend Bild 1.14 mit dem Effektivwert (Nennwert) gerechnet wird. Durch die LED fließt daher in den Scheitelpunkten der Wechselspannungskurve maximal der etwa 1,4fache Wert des nach Bild 1.13 angesetzten Stroms I_D. Diesen Umstand braucht man nicht besonders zu berücksichtigen, da die LED hier im Halbwellenbetrieb (der als ein Sonderfall des Impulsbetriebs angesehen werden kann) arbeitet und dabei ein entsprechend höherer Grenzwert für I_D zulässig ist. V2 nach Bild 1.14 hat im Sperrzustand nur den Wert der LED-Flußspannung U_D, im Durchlaßzustand den etwa 1,5fachen nominellen LED-Strom I_D auszuhalten, Typ und Daten von V2 sind also völlig unkritisch. Man kann jedoch auch statt V2 eine zweite LED (die nicht unbedingt vom selben Typ wie V1 zu sein braucht) einsetzen. Es wird dann jeweils eine LED im Sperrzustand mit dem U_D-Wert der anderen LED belastet, der immer unter dem als Sperrspannung zulässigen Wert liegt. Beide LED leuchten im Wechselspannungsbetrieb dann abwechselnd — bei ausreichend hoher Frequenz also scheinbar gleichzeitig — auf. Auf diese Weise lassen sich 2 LED über einen gemeinsamen Vorwiderstand betreiben, wobei 50% des Strombedarfs gespart werden. *R*v wird dabei gemäß Gleichung in Bild 1.13 (für den Strom I_D nur einer Diode!) bemessen; für U_D setzt man — falls beide LED nicht vom selben Typ sind — den niedrigeren der beiden gegebenen U_D-Werte ein. Eine Schaltung nach Bild 1.14, bestückt mit 2 LED, eignet sich (wenn *U*b eine Gleichspannung ist) auch zur Polaritätsfeststellung bei *U*b. Je nach Polung leuchtet entweder V1 oder V2 auf. Sinngemäß sind auch andere Anwendungen dafür möglich (z. B. automatische, von der Fahrtrichtung abhängige

Lichtsignale rot/grün bei Modellbahnanlagen, wobei Ub der Gleisfahrspannung entnommen wird).

1.4.3. Spezielle Betriebsweisen

Gelegentlich wird gefordert, daß die Helligkeit einer Anzeige-LED in weiten Grenzen unabhängig von der Speisespannung sein soll. Da die Helligkeit vom durchfließenden Strom abhängt, bietet sich für diese Fälle Konstantstromspeisung der LED an. Die allgemein bekannte Standardschaltung dafür sowie eine besonders einfache Lösung mit dem MOSFET *SM 103* als Konstantstrom-„Vorwiderstand" für die LED wurden in [1] bereits beschrieben. Bild 1.15 zeigt eine etwas modifizierte Schaltungsweise einer Konstantstromquelle, die als Ganzes 1polig in die LED-Zuleitung eingefügt werden kann. Die Betriebsspannung Us darf in diesem Fall mit Rücksicht auf die Verlustleistung von V2 maximal 33 V betragen; V2 muß außerdem bezüglich seiner Kollektorsperrspannung für die maximal auftretende Speisespannung Us bemessen sein. Für große Us-Werte ist deshalb ein *SF 127* vorzusehen, der nötigenfalls mit Kühlstern montiert wird. Die in V2 freiwerdende Verlustleistung Pv (V2) läßt sich mit der in Bild 1.15 angegebenen Gleichung bestimmen; danach ist auch feststellbar,



V1: SS 216 o.ä., $\beta > 150$
V2: SF127F, $\beta > 450$
V3: LED

$R2 \triangleq I_D$
$P_{V(V2)} = (U_S - U_{V3} - 0{,}8\,V) \cdot I_D$

Bild 1.15
1polig einschaltbare Konstantstromquelle für LED-Betrieb an stark schwankenden Speisespannungen

ob für V2 auf Kühlstern verzichtet oder ein geringer belastbarer Kleintransistortyp verwendet werden kann. Die minimale Betriebsgrenze für Us soll wenigstens etwa 2 V über der Flußspannung der verwendeten LED liegen, um einwandfreie Funktion der Konstantstromschaltung zu sichern. Für rotleuchtende LED ergibt sich damit ein Us-Bereich zwischen etwa 3,5 ... 33 V, innerhalb dessen die LED gleichbleibend hell leuchtet. $R1$ soll mit dem angegebenen Wert beibehalten werden. Der fließende LED-Strom wird von $R2$ bestimmt und kann nach der Beziehung $R2 = \frac{0{,}65\ \text{V}}{I_\text{D}}$ für jeden gewünschten I_D-Wert bemessen werden.

Für die bei üblichen Anzeige-LED günstigen Ströme um 10 mA ist $R2$ mit 56 ... 68 Ω günstig bemessen.

Häufig wird gefordert sein, eine LED als Netzeinschaltkontrolle zu verwenden. In Geräten, die keinen Netztransformator oder keine für die LED-Speisung geeignete Kleinspannung aufweisen bzw. wenn die LED direkt an einer 220-V-Leitung zu betreiben ist, würde dann ein Vorwiderstand nach Bild 1.14 sehr groß sowie seine Verlustleistung und Wärmeentwicklung unvertretbar hoch werden. In diesem Fall empfiehlt es sich, einen Vorschaltkondensator zu verwenden, wobei die LED mit seinem Blindstrom betrieben wird. Man vermeidet auf diese Weise das Entstehen einer schwer abzuführenden Verlustwärme. Bild 1.16 zeigt die Schaltung. Für übliche Anzeige-LED mit Strömen bis 15 mA darf der Kondensator (bei 220 V~ Netzspannung) maximal 0,22 μF haben. Man muß eine durchschlagsichere Ausführung (MP-, MKL-, MKC-, ML-Typen) verwenden, die für 220 V~ bzw. mindestens 630 V= zugelassen ist. Bedarfsweise kann auch für V1 eine zweite LED eingesetzt werden. $R1$ hat eine doppelte Schutzfunktion: Erstens wird mit $R1$ der Einschaltstromstoß (Aufladung von $C1$ bei Anlegen der Spannung) auf ein für die LED

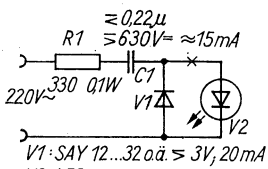


Bild 1.16
Schaltung für LED-Betrieb an 220-V-Netzspannung

ungefährliches Maß verringert; zweitens hat $R1$ die Aufgabe, bei eventuellem Durchschlag und Kurzschluß von $C1$ abzubrennen und damit Netzspannungskurzschluß zu verhindern. Deshalb ist er exakt mit 0,1 bzw. 0,125 W zu bemessen und vorsorglich in einigem Abstand zu brennbaren Materialien anzuordnen. In jedem Fall zerstört aber Kurzschluß von $C1$ auch V1 und V2; für den Kondensator eignen sich also nur zuverlässige, hochwertige Fabrikate.

1.5. Anwendungshinweise für LED

1.5.1. Besonderheiten der einfarbigen Strahlung

Wie einleitend schon erläutert wurde, ist nahezu die gesamte Lichtenergie der LED in nur einem Emissionsmaximum geringer Bandbreite konzentriert. Das Licht ist daher zwar nicht physikalisch exakt monochrom (einfarbig), kommt diesem Fall aber sehr nahe. Die bei einigen (vorzugsweise gelben und orangefarbenen) Typen vorhandenen Nebenmaxima sind weit lichtschwächer und können vernachlässigt werden. Die Einfarbigkeit bedeutet, daß sich das LED-Licht nicht mit Farbfiltern farblich beeinflussen läßt. Farbfilter, die in ihrer Einfärbung vom Strahlungsmaximum der LED abweichen (was übrigens trotz visuell anscheinend fast gleichem Farbton von LED-Licht und Filterfarbe der Fall sein kann!), ergeben daher eine mehr oder weniger starke Lichtschwächung ohne merkliche Änderung des LED-Farbtons, sind also dann nur von Nachteil. Das kann in ungünstigen Fällen sogar bei handelsüblichen roten oder grünen Farbfilterfolien vor (anscheinend) gleichfarbigen LED der Fall sein; bei unbekannten Filtermaterialien entscheidet der Versuch. Die LED-Farbe ist daher als vorgegeben hinzunehmen (sie hängt auch nicht vom LED-Betriebsstrom ab). Farbfilter in der Eigenfarbe der LED können jedoch — außer bei Ziffernanzeigen, bei denen sie zur Kontraststeigerung allgemein üblich sind — auch bei Anzeige-LED dann von Wert sein, wenn die LED selbst eine farblose Verkappung hat und/oder bei starker Umgebungshelligkeit erkennbar sein soll. Bei Übereinstimmung der Filterfärbung (genau: des spektralen Durchlaßbereichs des Filters) und der LED-Emissionsfarbe kann ein vorgesetztes Farbfilter ausreichen-

der Dichte den Kontrast ganz erheblich verbessern. Die LED ist dann auch bei starkem Umgebungslicht noch gut erkennbar. Die meisten LED-Gehäuse sind deshalb bereits vom Hersteller in der Leuchtfarbe der LED eingefärbt, wobei das Gehäuse die Funktion des kontraststeigernden Filters mit übernimmt. Auch bei solchen LED kann man noch eine Kontrastverbesserung erreichen, wenn man die LED in eine kleine Fassungshülse einige Millimeter vertieft setzt (besonders seitlich und rückwärtig in das LED-Gehäuse eindringendes Außenlicht wirkt sich sehr störend aus) und die Sichtöffnung mit einem auf die LED-Farbe abgestimmten Filterfolienstück abschließt. Für den seitlichen Lichtschutz genügt meist schon etwas über die LED gezogener schwarzer Isolierschlauch. Soweit es sich um LED in farblosen Kunststoffgehäusen handelt (Beispiel: *VQA 13*), bietet sich übrigens eine elegante Möglichkeit „zweifarbiger" Signalisierung: Die (ausgeschaltete) LED kann von rückwärts mit einer Miniaturglühlampe oder anderen Lichtquelle je nach Anwendungsfall bestrahlt werden. Infolge der durchscheinend-lichtstreuenden Wirkung des LED-Gehäuses (vorzugsweise bei weiß-diffusen Gehäusen) scheint dann die LED in der Farbe der rückwärtig bestrahlenden Lichtquelle aufzuleuchten (1. Signal). Wird diese Lichtquelle aus- und die LED selbst eingeschaltet, so leuchtet sie in ihrer Eigenfarbe auf, was dem 2. Signal entspricht. Für den Amateur ergibt sich — außer mit Miniaturglühlampen — beispielsweise durch Verwendung einer *VQA 13* (weiß-diffus, Lichtfarbe rot) mit einer dahinter angeordneten *VQA 23* oder *VQA 27* ausreichender Helligkeit, besser noch den Klargehäusetypen *VQA 26* oder *VQA 25* (alle grün), die Möglichkeit einer Rot/Grün-Signalisierung (improvisierte „Zweifarben-LED") in einem Anzeigepunkt.

Eine Sonderstellung nehmen Infrarot-LED ein. Physikalisch gilt auch für sie alles bisher Gesagte, selbstverständlich ist das Infrarotlicht nicht sichtbar. Die Infrarotstrahlung kann der Amateur nur indirekt mit geeignetem Infrarotdetektor (mit Fototransistor und entsprechender Anzeigeschaltung leicht improvisierbar, Beispiele in [1] und [4]) nachweisen. Farbfilter haben vor Infrarot-LED in keinem Fall Berechtigung. Allenfalls können vor zugehörigen Infrarot-*Empfängern* spezielle Infrarotfilter (für den Amateur als Fotobedarf zu erhalten, je nach Filterdichte tiefrotes bis schwarzes Aussehen, normale Rotfilter jedoch zwecklos!) vor-

gesetzt werden, um unerwünschtes Nebenlicht im sichtbaren Spektralbereich auszuschalten (erforderlich meist nur bei empfindlichen Lichtschranken mit langer Lichtweglänge u. ä.). Da gerade bei solchen Anwendungen aber die LED-Strahlungsleistung meist ohnehin nur knapp ausreicht, wird man, wenn irgend möglich, gerade bei Infrarotanwendungen auf jedes Filter verzichten, da ihr Einsatz stets mit Lichtverlusten (auch im Durchlaßbereich des Filters) verbunden ist.

1.5.2. Lichtempfänger für LED-Strahlung

Den Amateur wird das Anwenden der LED im Zusammenhang mit lichtempfindlichen Bauelementen (etwa für Lichtschranken u. ä., dazu [4]) interessieren. Dabei erweist sich jedoch die auf einen schmalen Spektralbereich konzentrierte LED-Strahlung als Nachteil. Die dem Amateur verfügbaren Lichtempfänger sind neben Selenelementen (die wegen ihrer Großflächigkeit von vornherein ausscheiden!) Fotowiderstände, Fotodioden, Fototransistoren. Übliche Fotowiderstände sind (mit für den Amateur genügender Näherung) im gesamten sichtbaren Spektralbereich empfindlich, ihre Empfindlichkeitskurve deckt sich annähernd mit der des menschlichen Auges (das gilt u. a. für die dem Amateur bekannten CdS-Typen, zu denen Importtypenreihen wie *WK* ... oder *FO-K* ... gehören). Daneben gibt es Bleisulfidfotowiderstände (*PbS*-Typen), die ihr Empfindlichkeitsmaximum im infraroten Bereich (jedoch nicht im Bereich der Strahlung von Infrarot-LED) haben; im sichtbaren Bereich und im nahen Infrarotbereich (in dem Infrarot-LED strahlen) ist ihre Empfindlichkeit erheblich geringer als die der *CdS*-Typen. Elektrisch lassen sich *PbS*-Typen ebenso wie *CdS*-Typen einsetzen. Sie zeichnen sich jedoch durch eine hohe Trägheit aus und sind auch deshalb für den Amateur kaum von Interesse. Dagegen lassen sich Fotohalbleiter auf pn-Sperrschicht-Grundlage (Fototransistoren, Fotodioden) vorwiegend für den nahen Infrarotbereich, daneben auch noch gut für den sichtbaren Spektralbereich (mit deutlich höherer Rotempfindlichkeit) verwenden, sie werden deshalb vom Amateur für Lichtschrankenanwendungen u. ä. vorzugsweise benutzt. Nach dem heutigen technischen Stand sind — auch im Amateurbereich — nur noch Si-Fotohalbleiter

aktuell (Ge-Fototransistoren und Ge-Fotodioden haben für die moderne Schaltungstechnik zu hohe Dunkelsperrströme). Ein weiterer Vorzug von Fototransistoren und Fotodioden ist ihre sehr kleine lichtempfindliche Oberfläche, was der (für die meisten Anwendungen notwendigen) empfängerseitigen Lichtbündelung mit Sammellinse oder Hohlspiegel sehr entgegenkommt. Näheres zur optischen Problematik solcher Anwendungen ist in [4] erläutert.

Die gute Eignung der letztgenannten Fotohalbleiter für den Amateur resultiert aber vorzugsweise daraus, daß die üblicherweise vorkommenden Lichtquellen (Lichtschranken, mit Glühlampe Tageslicht bei Dämmerungsschaltern u. ä.) über den ganzen Spektralbereich, für den diese Lichtempfänger empfindlich sind, kontinuierlich verteilt strahlen. Tatsächlich ist auch eine mit sichtbarem Glühlampenlicht und Fototransistor oder Fotodiode aufgebaute Lichtschranke vor allem eine Infrarotlichtschranke, weil sowohl die Glühlampe als auch der Fotohalbleiter ihre Maxima im nahen infraroten Bereich haben. Daraus erklärt sich die z. T. erstaunlich große Reichweite von Lichtschranken, Lichttelefonieverbindungen usw. bei nur schwachglimmender Glühlampe. Leider verhält sich die LED in diesem Fall grundsätzlich anders. Die sichtbares Licht emittierenden LED haben ihr sehr schmales Maximum in einem Bereich, in dem alle genannten Lichtempfänger (mit Ausnahme von *CdS*-Fotowiderständen) „taub", d. h. fast unempfindlich sind. Germanium- und Siliziumfotohalbleiter sind daher zur Kombination mit sichtbar strahlender LED nicht geeignet (bei Lichtschrankenanwendungen würden sich allenfalls wenige Millimeter Reichweite ergeben!). LED mit sichtbarer Strahlung lassen sich daher für solche Anwendungen nicht als Lichtquelle einsetzen. Anders sieht das jedoch im infraroten Bereich aus. Das Strahlungsmaximum von Infrarot-LED fällt genau mit dem Empfindlichkeitsmaximum von Silizium- und Germaniumhalbleitern zusammen. Siliziumfototransistoren oder Si-Fotodioden sind daher ideale Lichtempfänger für Infrarot-LED. Industriell werden deshalb Optokoppler und auch Lichtschranken, die mit LED arbeiten, ausschließlich im Infrarotbereich betrieben. Wegen der guten Übereinstimmung der spektralen Maxima von Infrarot-LED und Si-Fotohalbleitern erreicht man für die gesamte Übertragungsstrecke einen optimalen Wirkungsgrad. Im infraroten Bereich lassen sich daher mit wenigen

zehn Milliwatt LED-Leistung Lichtschranken von einigen Metern Länge (mit sender- und empfängerseitig guter optischer Bündelung auch bis zu 100 m und mehr; s. [4]) leicht realisieren. Da die Infrarot-LED eine nahezu punktförmige Lichtquelle darstellt, ist ihr Licht auch schon mit Sammellinsen oder Hohlspiegeln kurzer Brennweite (und geringer Abmessungen, was Kleinbauweise ermöglicht) gut zu bündeln. Auf die (in der Praxis häufig unterschätzten!) optischen Zusammenhänge solcher Anwendungen, auf Schaltungstechnik und Einsatz geht insbesondere [4] näher ein. Dem Amateur stehen inzwischen geeignete Infrarot-LED mit guten optischen Eigenschaften und beachtlicher Strahlungsleistung in den Typenreihen *VQ 110* (maximal 50 mA) und *VQ 120* (maximal 100 mA) zur Verfügung, wobei in beiden Typenreihen der Wirkungsgrad (Strahlungsleistung bei gegebenem Strom) durch einen an die Typenkennzahl angefügten Buchstaben gekennzeichnet wird (Gruppe *A* entspricht dem niedrigsten, *D* dem höchsten Wirkungsgrad). Die Flußspannung aller Infrarot-LED liegt bei 1,5 V. Geeignete Fotoempfänger stehen dem Amateur als Fototransistoren (*SP 201, SP 211*) und Fotodioden (*SP 101, SP 102, SP 103*) zur Verfügung, Fototransistoren daneben auch aus Importen (Beispiel: ČSSR-Typ *KP 101*). Wegen der höheren Empfindlichkeit (was geringeren Schaltungsaufwand für die Signalverstärkung bedeutet) wird der Amateur Fototransistoren bevorzugen. Der inzwischen aus der Amateurliteratur hinlänglich bekannte Eigen-„Bau" von Fototransistoren (durch vorsichtiges Öffnen des Gehäusedeckels übliche Si-Transistoren der Typrenreihen *SF 126, SF 136* und ähnlicher sowie Wiederverschließen mit lichtdurchlässigem Deckel) läßt sich auch zusammen mit Infrarot-LED problemlos realisieren, da „normale" Transistorsperrschichten im gleichen Infrarotbereich lichtempfindlich sind.

Eine andere Anwendung sind Optokoppler. Da diese optoelektronischen Bauelemente nicht zur Thematik des vorliegenden Bandes gehören, können sie nur kurz erwähnt werden. Sie bestehen aus einer Infrarot-LED und einer mit der LED direkt zusammengebauten (in gemeinsamem Gehäuse vereinigten, aber elektrisch gegeneinander isolierten) Fotodiode oder Fototransistor. Derartige Optokoppler werden zur galvanischen Trennung unterschiedlicher Signalstromkreise, u. a. zur potentialfreien Übertragung von NF-Spannungen (bei industriellen Anwendun-

gen auch HF-Signale) oder Impulsen bzw. Steuerspannungen (einschließlich Gleichspannungen) zwischen Stromkreisen angewendet, die wegen stark unterschiedlicher Potentiale oder aus anderen Gründen keine direkte Verbindung haben dürfen. Anwendungsfälle sind: Meßwertabnahme von Hochspannung führenden Leitungen zu geerdeten Auswertevorrichtungen, erdungsfreie NF-Übertragung ohne NF-Transformatoren, galvanische Trennung von mit dem Netz verbundenen Geräten — Beispiel: Thyristorsteuerungen — gegen deren Folgegeräte oder Steuereinheiten. Bei entsprechend ausgelegten Optokopplern bereitet die Isolation zwischen LED-Strahler und Lichtempfänger selbst bei Potentialunterschieden von einigen zehn Kilovolt keine grundsätzlichen Probleme. Der Amateur kann Optokoppler durch direktes Zusammensetzen von Infrarot-LED und Fototransistor (dafür gut geeignet die kleinen, bauformgleichen Typen *VQ 110* und *SP 201*) sehr einfach realisieren. Dazu werden beide Bauelemente beiderseits in ein passendes Stück schwarzen Isolierschlauchs stramm eingeschoben und notfalls rückseitig gegen Fremdlicht abgeschlossen.

Für Spannungen bis etwa 1 kV, bei speziellen Typen bis 5 kV Isolationsfestigkeit zwischen LED und Lichtempfänger sind industriell gefertigte Optokoppler handelsüblich und auch dem Amateur verfügbar (DDR-Typen *MB 101*, *MB 104*, *MB 110*, *MB 111*). Bezüglich ihrer Daten muß auf die Herstellerdatenblätter verwiesen werden. Im prinzipiellen Aufbau entsprechen sie dem Gesagten (ein Infrarot-LED-Chip bestrahlt auf kurze Distanz einen von ihm isoliert angeordneten Dioden- oder Transistor-Chip), die Bauform hat (außer bei Sondertypen für hohe Spannungsfestigkeit wie dem *MB 101*) oftmals äußere Ähnlichkeit mit Transistor- oder Schaltkreisgehäusen (mit 4 oder 6 Anschlüssen). Die Maximalbelastbarkeit der in solchen Optokopplern enthaltenen Infrarot-LED ist unterschiedlich (meist bei 20 ... 50 mA); die typische Flußspannung liegt bei 1,5 V. Das Ausgangssignal bei gegebenem LED-Eingangsstrom des Kopplers kann je nach Lichtempfänger (Transistor oder Diode) und seinem Stromverstärkungsfaktor bzw. seiner Empfindlichkeit sehr unterschiedlich sein. Moderne mit Fototransistor bestückte Optokoppler können einen Ausgangsstrom abgeben, der höher ist als der eingespeiste LED-Eingangsstrom. Für die Wahl des Lichtempfängers (und damit des Optokopplertyps) ist der Anwendungs-

zweck maßgebend, weil der Lichtempfänger stark die höchste übertragbare Frequenz beeinflußt. Mit Fototransistoren lassen sich Frequenzen bis maximal etwa 100 kHz, mit Fotodioden — bei erheblich schwächerem Ausgangssignal gegenüber dem Fototransistor — Signale bis zu einigen Megahertz (bei Spezialausführungen bis in den GHz-Bereich) übertragen.

1.5.3. LED als Lichtempfänger

Ein für den Amateur interessanter ungewöhnlicher Einsatzfall der LED soll nachfolgend erwähnt werden. Da Leuchtdioden ihrem Aufbau nach übliche Halbleiterdioden mit pn-Sperrschicht-Übergang (lediglich auf Gallium- statt Siliziumbasis) sind, ist ihre Sperrschicht in ähnlicher Weise lichtempfindlich wie die üblicher Ge- oder Si-Halbleiter. Prinzipiell kann daher eine LED auch als Lichtempfänger, exakt also als Fotodiode, verwendet werden. Damit bietet sich dem Amateur eine Alternativlösung durch den Einsatz relativ preiswerter LED an, falls reguläre Fotodioden nicht beschaffbar oder zu kostspielig sind. Vom Verfasser dazu durchgeführte Versuche ergaben, daß LED prinzipiell erstaunlich gute Eignung als Fotodioden haben. Schaltungstechnisch kann eine als Fotodiode eingesetzte LED ebenso gehandhabt werden, wie es bekannte Schaltbeispiele für reguläre Fotodioden (*SP 102* u. ä.) zeigen. Insbesondere eignet sich die LED als Fotodiode dort gut, wo diese als Spannungs*quelle* benutzt wird (Schaltungsbeispiele dieser Art u. a. in [4]), aber auch der bekannte Betrieb als lichtempfindlicher Widerstand mit angelegter Sperrspannung ist möglich. Wie nicht anders zu erwarten, ist auch die LED vorzugsweise im nahen infraroten Bereich lichtempfindlich (das gilt für im sichtbaren Bereich leuchtende LED ebenso wie für Infrarot-LED-Typen). Die Versuche ergaben allerdings einen sehr störenden Einfluß der Gehäuseeinfärbung bei vielen plastverkapselten LED mit gefärbten Gehäusen (die, wie im Abschnitt 1.5.1. erläutert, die Aufgabe eines Kontrastfilters haben und vermutlich im infraroten Bereich erheblich absorbieren). In diesem Fall ließ sich bei den meisten Typen von plastverkapselten Anzeige-LED (insbesondere solchen mit diffuser Verkapselung) sowohl aus DDR-Fertigung wie aus Importen nur eine mangelhafte, für den Einsatz kaum ausreichende Lichtempfind-

lichkeit feststellen. Eingefärbte LED sind also für diesen Zweck grundsätzlich ungünstig (im Einzelfall kann der Versuch andere Ergebnisse bringen). Dagegen zeigten LED in ungefärbten (weißklaren oder weiß-diffusen) Gehäusen eine überraschend hohe Lichtempfindlichkeit. Die nachfolgend genannten Zahlen sollen dem Amateur als Anhaltswert für eigene Versuche und zum Abschätzen möglicher Einsatzfälle dienen. Gemessen wurde vom Verfasser bei einer Beleuchtungsstärke auf der LED-Oberfläche von 2000 lx (das entspricht etwa der Lichtwirkung einer üblichen netzbetriebenen 100-W-Glühlampe in 20 cm Entfernung von der LED) mit Normalglühlicht. Hierbei brachte insbesondere der verbreitete und preiswerte LED-Typ *VQA 13* — als Fotoelement betrieben — gute Ergebnisse. Die Leerlaufspannung (gemessen an 10 MΩ) erreichte ≈0,9 V (also erheblich höher als bei Si-Fotodioden). Der Kurzschlußstrom (gemessen in 1 kΩ) ist merklich exemplarabhängig und erreicht bei 2000 lx größenordnungsmäßig 1 ... 2 μA. Der Öffnungswinkel der als Fotodiode betriebenen *VQA 13* (bezogen auf 50% Signalrückgang gegenüber Maximumeinfallsrichtung) beträgt immerhin etwa ±30°. Damit ist die *VQA 13* für Amateurzwecke im Vergleich zu handelsüblichen Si-Fotodioden zumindest als gleichwertig anzusehen, solange keine extremen Anforderungen an Schaltzeit und Frequenzgrenze (nur überschlägig ermittelt, für *VQA 13* aber über 100 kHz) gestellt werden. Die Infrarot-LED *VQ 110 C* ergab — unter denselben Bedingungen gemessen — eine Leerlaufspannung von (exemplarabhängig) ≈0,7 V an 10 MΩ bzw. ≈0,6 V an 1 MΩ und einen stark exemplarabhängigen Kurzschlußstrom (gemessen in 1 kΩ) bei 0,8 ... 3,5 μA. Der Öffnungswinkel der *VQ 110 C* (bezogen auf 50% Signalabfall) ist mit weniger als 10° erheblich geringer als bei der *VQA 13*; das Frequenzverhalten entspricht näherungsweise der *VQA 13*. Ganz ähnliche Ergebnisse erbrachte die — für Lichtempfängerzwecke wegen ihrer kleinen Bauform (Bild 1.4) interessante — *VQA 15*.

Versuche zur Verwendung einer LED als Lichtempfänger für eine strahlende Infrarot-LED wurden nur zur groben Orientierung an wenigen Exemplaren durchgeführt, weshalb wegen der starken Exemplarstreuungen auf Zahlenangaben verzichtet wird. Die Verwendung einer *VQ 110* als Strahlungsquelle mit einer *VQ 110* oder *VQA 13*, *VQA 15* als Fotodiode erscheint danach zumindest für vom Amateur improvisierte Optokoppler (beide LED mit

Frontseite gegen Frontseite direkt aneinandergesetzt) als erfolgversprechend. Nach dem Lichtschrankenprinzip und ohne zusätzliche optische Bündelungsmaßnahmen ließ sich mit einer *VQ 110 C* und einer ausgewählten *VQA 13* unter Verwendung einer OPV-bestückten Empfängerschaltung (aus [4]; Betriebsweise der Fotodiode als Spannungsquelle bzw. Fotoelement) eine Schrankenstrahllänge von immerhin einigen Zentimetern erzielen, was für viele Anwendungen (optische Abtaster, Drehzahlaufnehmer u. ä.) schon ausreichen kann.
Auf die daraus resultierenden interessanten Einsatzmöglichkeiten von LED — für die der Hersteller selbstverständlich weder garantiert noch Daten angeben kann — sollte der experimentierfreudige Amateur daher besonders hingewiesen werden.

1.6. Schaltbeispiele mit LED

1.6.1. Blinkschaltungen

Blinklichtgeber benötigt der Amateur für sehr viele Zwecke. Bild 1.17 zeigt eine inzwischen „klassische", hier speziell für LED-Betrieb dimensionierte Schaltung. Für V2 können die beim Ama-

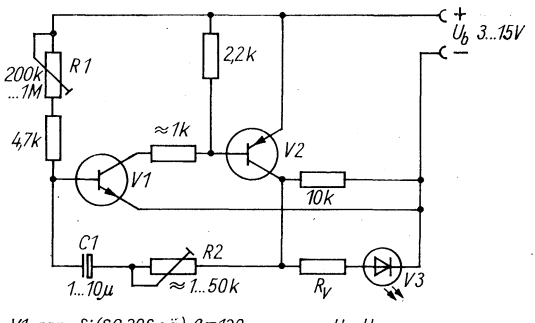


Bild 1.17 Eine für LED-Betrieb vorteilhafte Blinkschaltung

teur noch sehr zahlreich vorhandenen herkömmlichen Ge-Transistortypen mit geeigneten Daten verwendet werden; ebenso möglich ist eine modernere Bestückung mit pnp-Si-Typen (DDR-Typen *SC 307 ... SC 309* oder Importtypen). Die Schaltung kann für Betriebsspannungen zwischen 3 und 15 V dimensioniert werden (untere Grenze je nach LED-Flußspannung bzw. LED-Farbe, wobei sich für Rv mindestens noch 47 Ω realisieren lassen müssen). Rv bemißt man in bekannter Weise nach der in Bild 1.17 mit angegebenen Formel. Der an Basis-Emitter des V2 liegende 2,2-kΩ-Widerstand wird beim Einsatz eines pnp-Si-Transistors mit 22 kΩ bemessen; der 1-kΩ-Kollektorwiderstand des V1 kann — abhängig von Transistorexemplaren und gewählter Ub — auf sicheres Anschwingen optimiert werden. Die Blinkfrequenz wird grob mit $C1$ nach Bedarf festgelegt und fein mit $R1$, $R2$ abgeglichen, wobei $R1$ die Dunkelzeit, $R2$ die Leuchtdauer der LED V3 festlegt. $R1$, $R2$ können nach Erprobung durch Festwiderstände ersetzt werden. Der Stromverbrauch dieser Komplementärblinkschaltung ist in den Dunkelpausen vernachlässigbar gering und entspricht in den Leuchtperioden etwa dem LED-Strom, so daß diese Schaltung sehr ökonomisch arbeitet und insbesondere für Batteriebetrieb nützlich ist.

Da sehr häufig die Aufgabe besteht, Anzeige-LED zusammen mit TTL-Schaltkreisen zu betreiben, zeigt Bild 1.18 eine einfache Blinkschaltung mit 2 TTL-Grundgattern ($^1/_2$ D 100 o. ä.; [5]). Mit Gatter D3 kann ein invertiertes Taktsignal zum gegenphasigen Ansteuern einer zweiten LED (Wechselblinker) gewonnen

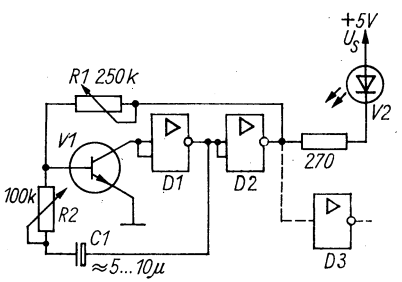


Bild 1.18
LED-Blinkschaltung mit TTL-Schaltkreis *D 100*

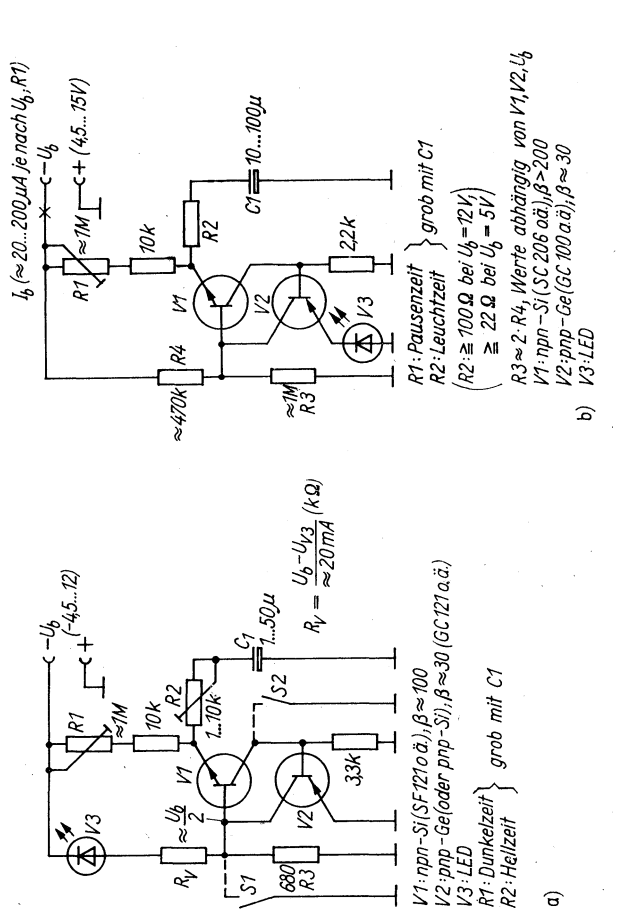


Bild 1.19 a — spezielle LED-Blinkschaltung. Die LED leuchtet in den Pausenzeiten halbhell und blinkt periodisch hell auf, b — spezielle LED-Blinkschaltung für extrem geringe Speisestromaufnahme auch während der LED-Leuchtzeit. Die LED blinkt in Abständen kurz auf. Die Stromaufnahme dieser Schaltung liegt zu allen Zeitpunkten unter 0,5 mA

werden. Der Taktgeber entspricht einer aus der TTL-Technik bekannten Grundschaltung ([5] u. a.), so daß die Funktionsbeschreibung entfallen kann. Über die freien (entsprechend dem Bild parallelgelegten) Eingänge der Gatter D1 und D2 ergeben sich für den Blinklichtgeber zusätzliche Steuerungsmöglichkeiten (Start/Stop, Umschaltung Dauerlicht/Blinken) die in [5] näher ausgeführt sind. Mit $C1$, $R1$ und $R2$ werden hier wiederum (sinngemäß wie bei der vorstehenden Schaltung beschrieben) die Blinkfrequenz und das Tastverhältnis festgelegt.

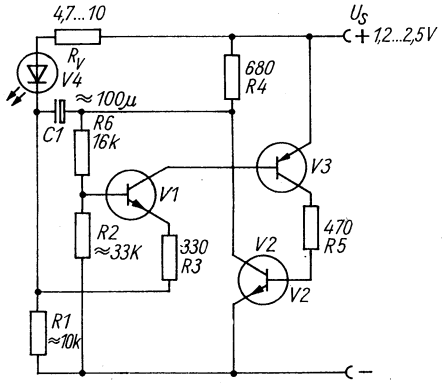
Bild 1.19a zeigt eine weitere, speziell für LED-Betrieb geeignete Blinkschaltung. In diesem Fall leuchtet die LED V3 in den Pausenzeiten mit verminderter Helligkeit auf, wird also nicht völlig abgeschaltet. Diese Schaltung eignet sich vorzugsweise für kurze Lichtblitze mit längeren Dunkelzeiten (bzw. Halbhellzeiten). Zunächst sind V1 und V2 gesperrt; LED V3 wird über die Reihenschaltung Rv, $R3$ mit vermindertem Strom betrieben, leuchtet also vorerst nur schwach auf. Rv wird je nach gewählter Ub gemäß der in Bild 1.19a mit angegebenen Formel bemessen. Die Grundhelligkeit der LED kann man mit $R3$ in gewissen Grenzen variieren (erst nach Wertfestlegung von $R3$ werden $C1$, $R1$, $R2$ bemessen). Über $R1$, $R2$ wird $C1$ aufgeladen. Sobald die Spannung am Emitter von V1 die am Verbindungspunkt Rv, $R3$ stehende Spannung (die etwa der halben Betriebsspannung entsprechen soll) übersteigt, werden V1 und durch seinen Kollektorstrom auch V2 leitend. V2 schließt $R3$ kurz (womit die LED voll aufleuchtet) und senkt das Basispotential für V1 auf nahe Massepotential ab. Der über $R2$ daraufhin einsetzende kräftige Stromfluß (Entladestrom von $C1$) hält nunmehr beide Transistoren so lange geöffnet, bis $C1$ über $R2$ nahezu entladen ist. Sobald sich $C1$ entladen hat, reicht der über $R1$ noch vorhandene Stromfluß nicht mehr aus, um V2 voll durchzusteuern (Bedingung dafür ist ein ausreichend hoher Wert von $R1$ oder sonst ausnahmsweise ein *geringer* β-Wert für V2). V2 beginnt zu sperren, womit das Basispotential für V1 angehoben wird und den Wert des an $C1$ stehenden Potentials übersteigt. V1, V2 sperren daraufhin sofort ganz, V3 leuchtet wiederum mit geringer Helligkeit, und über $R1$ wird $C1$ neu aufgeladen. Die für $R1$, $R2$ und damit auch $C1$ möglichen Grenzwerte hängen weitgehend von den β-Werten der Transistoren und der gewählten Betriebsspannung Ub ab. Auch diese Schaltung ermöglicht — ähnlich wie die zuvor gezeigte

TTL-Schaltung — Blockierungen (in Bild 1.19a punktiert angedeutet): Wird S1 geschlossen, so ist der Taktgeber in Stellung „LED hell" gestoppt. Schließt man S2 (beide Schaltkontakte sind symbolisch zu verstehen und können auch durch andere Schaltorgane ersetzt werden), so stoppt der Taktgeber in Stellung „LED halbhell" und setzt bei Öffnen von S2 sofort mit einem Blinkimpuls ein. Durch Vertauschen von V1, V2 und Umpolen von V3 und $C1$ kann die Schaltung auch für positive Betriebsspannungen verwendet werden.

Bild 1.19b zeigt eine Abwandlung dieser Schaltung. Sie führt zu einem Blinkgeber, der sich auch in den Leuchtzeiten der LED durch sehr geringe Stromaufnahme auszeichnet. Die Speisestromaufnahme Ib kann je nach Wahl von Ub und $R1$ in beiden Taktperioden (im Unterschied zu anderen Blinkschaltungen also auch während des Aufleuchtens der LED) unter 0,5 ... 0,2 mA gehalten werden. Diese Schaltung eignet sich daher insbesondere zur Anzeige einer vorhandenen Spannung Ub, wenn diese nur mit geringem Strom belastet werden darf (Geräte mit kleinen Batterieformen u. ä.). Die Wirkungsweise entspricht der bei der Schaltung nach Bild 1.19a erläuterten, jedoch ist der Spannungsteiler $R4$, $R3$ in diesem Fall weit hochohmiger dimensioniert. Die LED wird im Impulsbetrieb von der in $C1$ gespeicherten Energie gespeist, $R2$ hat nur noch die Funktion der Strombegrenzung. Richtwerte für $R2$ (gültig für rotleuchtende Anzeige-LED und LED-Nennströme um 10 ... 20 mA) sind im Bild mit angegeben (Mindestwerte). Höhere Werte für $R2$ ergeben etwas längere Leuchtzeit bei verringerter Helligkeit. Diese Schaltung ermöglicht extrem kurze, auffällige Lichtblitze bei relativ langen (mit $R1$ einstellbaren) Dunkelzeiten. Auch diese Schaltung kann durch Vertauschen von V1, V2 und Umpolen von V3 und $C1$ für positve Betriebsspannungen benutzt werden, dann sollte jedoch V1 ein pnp-Si-Typ (*SC 307 ... SC 309, KF 517, KFY 18* o. ä.) sein. Besonders bei niedrigen Betriebsspannungen ergibt sich für $C1$ ein relativ hoher Wert, um noch ausreichend helles Aufleuchten der LED zu erreichen. Da für $R1$ ein (transistorexemplarabhängiger) Mindestwert nicht unterschritten werden darf, ergeben sich dann relativ lange Dunkelpausen (Größenordnung 10 s), was in den Einsatzfällen, für die diese extrem stromarme Schaltung in Betracht kommt, meist sogar von Vorteil ist.

Die bisher behandelten Schaltungen erfordern sämtlich eine

Speisespannung, die um einen ausreichenden Betrag größer als die LED-Flußspannung sein muß. Gerade im Zusammenhang mit neueren Gerätetechniken stehen aber oftmals nur 1,5 ... 2 V als Speisespannung zur Verfügung, also u. U. weniger als die Flußspannung der LED. In solchen Fällen ist ein LED-Betrieb nur möglich, indem schaltungstechnisch entweder eine Spannungstransformation erfolgt (eine dafür geeignete sehr einfache Schaltung enthält [1]) oder die verfügbare Speisespannung verdoppelt wird. Letzteres gelingt, indem man mit der Speisespannung einen Kondensator auflädt und ihn danach gegen die umgepolte Speisespannung über die LED entlädt, wobei sich die im Kondensator gespeicherte Spannung zur Speisespannung addiert. Bei einer Speisespannung von 1,5 V (Monozelle) stehen dann für die LED immerhin noch etwas mehr als 2,5 V zur Verfügung, was zum Betrieb mindestens rotleuchtender sowie gegebenenfalls ausgewählter gelb- und grünleuchtender LED ausreicht. Bei Speisespannungen um 2 V sind bereits alle LED ohne Vorauswahl verwendbar. Bild 1.20 zeigt eine spezielle LED-Blinkschaltung für Betriebsspannungen im Bereich 1,2 ... 2,5 V (bei Ausschöpfen der unteren Grenze sind vorzugsweise rotleuchtende LED geeignet). Beim Anlegen der Speisespannung wird zunächst der blinkfrequenzbestimmende Kondensator C1 aufgeladen. Sein Wert sollte, um ausreichende LED-Helligkeit zu erzielen, nicht unter 100 μF liegen. V1 bleibt zunächst gesperrt, ebenso V2 und V3. Die Aufladung von $C1$ erfolgt über $R4$, $R1$, wobei das vom Ladestrom an $R1$ erzeugte Potential einen Stromfluß über die LED V4 verhindert (Wirkung der Schwellenspannung, s. Bild 1.11) und V1 gesperrt hält. Mit beendeter Aufladung von $C1$ sinkt das Potential an $R1$ so weit ab, daß V1 zu öffnen beginnt. Damit öffnen sofort auch V3 und V2, wobei letzterer Transistor den Pluspol des $C1$ an die negative Betriebsspannung legt. Über V2, $C1$, die LED V4 und Rv ist nun die an $C1$ liegende Spannung mit LED und Speisespannung in Serie geschaltet, so daß V4 aufleuchtet. Die Entladedauer des $C1$ wird im wesentlichen vom LED-Strombegrenzungswiderstand Rv bestimmt und ist relativ kurz, so daß die LED mit einem kurzen, kräftigen Lichtblitz reagiert. Rv wird in diesem Fall nicht nach den bekannten für Dauerbetrieb gültigen Beziehungen bemessen, denn es liegt Impulsbetrieb vor. Rv hat deshalb (im Zusammenhang mit dem angegebenen Betriebsspannungsbereich) den ungewohnt



V1: SS 216 o.ä., $\beta > 200$
V2: SF 126 E... F, $\beta > 300$
V3: SC 309 o.ä. (pnp-Si); $\beta > 100$
V4: LED ($U_F \leq 2{,}5V$)

C1: Blinkfrequenz grob } 100 µF; 10 kΩ
R1: Frequenz fein (5...20 kΩ) } ≙ 1 Hz
R2: auf Anschwingen bei U_{Smin}
R_V abhängig von $U_{F(V4)}$

Bild 1.20 LED-Blinkschaltung für Betrieb an niedriger Speisespannung. Die Speisespannung darf niedriger sein als die LED-Flußspannung!

niedrigen Wertbereich 4,7 ... 10 Ω und kann in diesen Grenzen je nach LED-Farbe (Flußspannung von V4) so festgelegt werden, daß sich ausreichend helles Aufleuchten der LED ergibt.
Während der Leuchtperiode (Entladung von *C*1) tritt die in *C*1 gespeicherte Spannung wegen des in dieser Periode geöffneten V2 auch an *R*1 auf, und zwar mit negativer Polarität am oberen Anschluß von *R*1. Dadurch wird der Emitter V1 negativ gegen seine Basis gehalten, so daß V1 geöffnet bleibt, bis *C*1 entladen ist. Bei entladenem *C*1 beginnt V1, da der Verbindungspunkt *R*4, *R*6, *C*1 über V2 an Minus der Speisespannung gelegt ist, zu schließen, worauf auch V3, V2 sperren und die Kollektorspannung an V2 ansteigt. Das bewirkt einen erneuten Ladestrom über *R*4, *C*1, *R*1, wobei der Emitter von V1 positives Potential bekommt, was zur völligen Sperrung von V1 führt — die Schaltung kippt zurück.

Danach erfolgt über *R*1 wiederum die Aufladung von *C*1. Die Schaltung erzeugt also kurze Lichtblitze. Die Blinkfrequenz wird grob mit *C*1 festgelegt, ein Feinabgleich ist in geringen Grenzen, wie in Bild 1.20 angegeben, mit *R*1 möglich. *R*2 läßt sich, wenn die untere Betriebsspannungsgrenze ausgeschöpft werden soll (was bei Betrieb aus einer 1,5-V-Batterieform stets erwünscht sein wird), je nach Transistorexemplaren auf Anschwingen bei der unteren vorgesehenen Betriebsspannung optimieren. Mit den im Bild 1.20 angegebenen Werten ergibt sich eine Blinkfrequenz von etwa 1 Hz.

Informationshalber sei erwähnt, daß eine nach ähnlichem Prinzip arbeitende Schaltungsvariante als kompletter integrierter Schaltkreis unter der Typenbezeichnung *LM 3909* mit der Zweckbestimmung „LED-Flasher" — für LED spezialisierter Blinklichtgeber — international im Angebot ist. Dieser im 8poligen DIL-Gehäuse gefertigte Schaltkreis benötigt als äußere Beschaltung nur noch die LED selbst sowie *C*1; sämtliche anderen Bauelemente sind integriert, was, wie auch die Werteangaben in Bild 1.20 zeigen, problemlos möglich ist.

Beim Aufbau der Schaltung nach Bild 1.20 sollte man beachten, daß V2 wegen der geringen verfügbaren Spannung ein Epitaxialplanartyp mit sehr geringer Sättigungsspannung (deren Betrag der LED-Betriebsspannung verlorengeht) ist, der auch bei geringem Basisstrom noch voll für den LED-Impulsstrom gesättigt sein muß. Aus diesem Grund wird in der Schaltung nach Bild 1.20 der nur scheinbar überdimensionierte Typ *SF 126* angegeben. Der Spitzenstrom durch die LED, der im Blinkmoment auch von der Stromquelle aufzubringen ist, kann je nach LED-Typ und *R*v bis 0,1 A betragen. Der die Batterie belastende mittlere Betriebsstrom (Dauerstrom, integriert) ist dagegen mit etwa 0,2 mA sehr niedrig, so daß diese Schaltung ebenfalls ökonomisch arbeitet. Der erwähnte hohe Spitzenstrom wird der Batterie nur für die Leuchtzeit (unter 10 ms, je nach *R*v und LED) entnommen und bildet dabei zugleich eine u. U. willkommene Batteriekontrolle: Falls die Batterie infolge Alterung oder Erschöpfung erhöhten Innenwiderstand zeigt, bricht im Blinkmoment die Batteriespannung so weit zusammen, daß die LED nicht oder nur schwach aufleuchtet. Normales Blinken weist daher zugleich eine intakte, normal arbeitende Batterie aus.

1.6.2. Spannungswächter

Für die Überwachung von Soll-Spannungen, z. B. zum Erkennen einer Unterspannung bei verbrauchter Batterie, eignen sich LED gut. Bild 1.21 zeigt ein Beispiel. Solange die Betriebsspannung (hier die zu überwachende Sollspannung) über dem geforderten Mindestwert liegt, ist die Z-Diode V4 durchlässig, V1 somit geöffnet, V2 gesperrt und die LED V3 erloschen. Unterschreitet die Speisespannung den Sollwert, sperrt die Z-Diode, ebenso V1, so daß V2 öffnet und die LED V3 einschaltet. Danach trägt die LED allerdings mit ihrem Stromverbrauch zusätzlich zur schnelleren Erschöpfung einer Batterie bei. Man kann deshalb je nach Anwendungsfall den LED-Strom mit R_V (der sich für die gegebene Spannung U_{Soll} mit der in Bild 1.21a angegebenen Formel berechnen läßt) auf einen Kompromißwert festlegen, wobei einerseits ein niedriger LED-Strom erwünscht ist, andererseits die untere Nachweisgrenze für die Anzeige beachtet werden muß (bei zu weit abgesunkener Sollspannung verlischt LED wieder). Es ist deshalb u. U. günstiger, eine stromsparende, aber auffällige Blinksignalisierung vorzusehen. Dafür kann statt V3 (Bild 1.21)

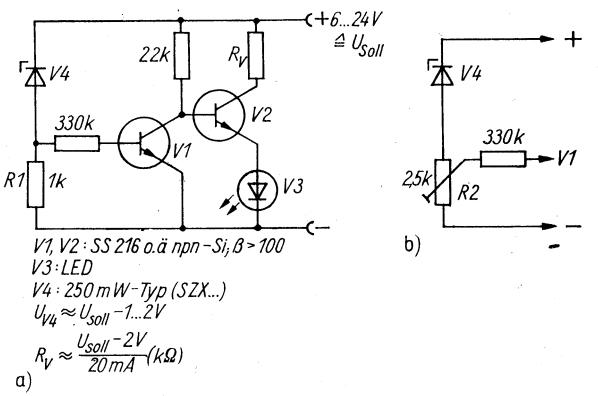


Bild 1.21 a — Signalisierschaltung für Unterschreiten eines Sollwertes der Speisespannung, b — Ergänzung für genauen Abgleich des Ansprechpunkts. Bei Spannungsunterschreitung leuchtet LED auf

die vollständige Blinkschaltung nach Bild 1.17 oder Bild 1.19b eingefügt werden. In beiden Fällen kann Rv in der Schaltung nach Bild 1.21 fortgelassen werden, Kollektor V2 kommt direkt an die Betriebsspannung.

Mit der Auswahl der Z-Diode V4 legt man in der Schaltung nach Bild 1.21 die Ansprechgrenze fest. Ist ein Feinabgleich für genaues Einstellen einer Ansprechgrenze erforderlich, so benutzt man die Abgleichmöglichkeit analog Bild 1.21b mit $R2$ (statt $R1$ in Bild 1.21a). Die Z-Spannung für V4 ist dann weniger kritisch und sollte etwa 1,5 ... 3 V unter der vorgesehenen Ansprechgrenze liegen. Solange die Betriebsspannung den Sollwert nicht unterschreitet, ist LED V3 erloschen, der zusätzliche Ruhestromverbrauch der Schaltung beträgt dabei nur etwa 1 bis 2 mA.

Bild 1.22 zeigt eine andere Spannungskontrolle. Sie signalisiert mit der LED V3 Abweichung der (bei U_E anzulegenden) Sollspannung nach beiden Richtungen. Ist $U_E = U_{Soll}$, so leuchtet die LED. Sie kann daher zugleich als Bereitschaftsanzeige verwendet werden. Die LED erlischt, wenn U_E größer oder kleiner als der Sollwert wird. Ist U_E identisch mit der zu kontrollierenden Betriebsspannung Ub, so kann die punktierte Verbindung hergestellt werden. Bei Sollspannung ist V2 geöffnet über V4, $R2$; V1 sperrt aber noch, was durch geeignete Einstellung von $R1$ er-

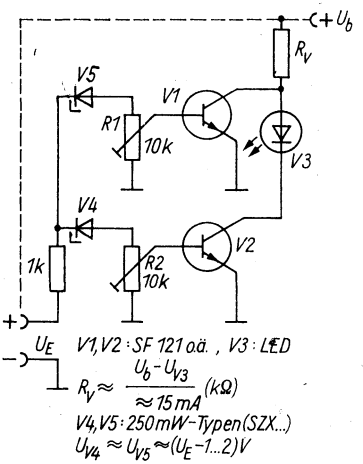
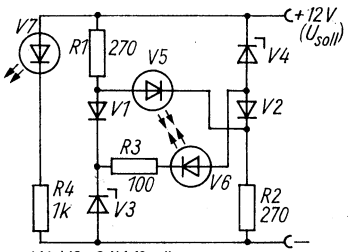


Bild 1.22
Spannungskontrollschaltung. LED leuchtet, wenn U_E innerhalb der Sollwertgrenzen liegt, und erlischt bei Über- oder Unterschreitung des Sollwerts

reicht wird. Die LED V3 leuchtet über Rv und V2. Sobald U_E über das zulässige Maß ansteigt, öffnet auch V1 und schließt die LED kurz, so daß sie verlischt. Sinkt U_E unter das (mit $R2$ eingestellte) zulässige Maß, so sperrt neben V1 nunmehr auch V2, die LED V3 verlischt also ebenfalls. Die Ansprechgrenzen für oberen und unteren Sollwert von U_E werden mit $R1$ und $R2$ eingestellt. Die Z-Spannungen der Z-Dioden V4 und V5 sollen etwa 1 ... 2 V unter dem Sollwert für U_E liegen. Mit dieser Schaltung lassen sich bei genauer Einstellung von $R1$ und $R2$ bereits Sollwertabweichungen von etwa $\pm 0{,}1$ V anzeigen. Für grobe Kontrollen, bei denen etwas größere Schwankungen für die U_E-Grenzwerte zulässig sind, kann man die Z-Dioden V4, V5 durch Widerstände ersetzen. Sie sind dann so zu bemessen, daß an $R1$ und $R2$ noch etwa 1 ... 2 V auftreten.

Bild 1.23 zeigt eine speziell für Batteriespannungskontrollen im Kfz-Fahrbetrieb geeignete Schaltung. Die Spannung im Fahrzeugbordnetz hat bei nominell 12 V tatsächlich einen Wert von 14 ... 14,5 V während der Fahrt, der je nach Temperatur, Fahrbedingungen und Batteriezustand relativ wenig differiert, bei einwandfreier Funktion aller Anlagenteile aber stets zwischen 13,7 und 15,1 V bleibt. Das Überschreiten von 15,2 V oder Unterschreiten von 13,6 V kann man daher als Warnsignal für mögliche



V1, V2 : SAY 12 o.ä.
V3, V4 : 250-mW-Typen
$U_{V3} = U_{V4}$!
$U_{V3(4)} = 6{,}8\,V \pm 5\,\%$ (für Kfz-Bordnetz)
oder
$U_{V3} = U_{V4} = (0{,}5 \cdot U_{soll} - U_F)\,V$
V5 : VQA 33 (gelb)
V6 : VQA 13 (rot)
V7 : VQA 23 (grün)

Bild 1.23
Spannungssollwertanzeiger für Kraftfahrzeuge (12 V)

Defekte in der Stromversorgung auffassen. Solche Abweichungen signalisiert die in Bild 1.23 gezeigte Schaltung.
Die LED V7 wirkt nur als Einschaltkontrolle und kann gegebenenfalls fortgelassen werden; ihr Aufleuchten besagt, daß überhaupt Spannung vorhanden ist. V5 und V6 (zweckmäßig gelb- und rotleuchtende LED) bilden eine Brückenschaltung zusammen mit den Z-Dioden V3 und V4 sowie den Widerständen $R1$ und $R2$. Für die angegebenen Sollspannungsgrenzwerte sollten V3 und V4 möglichst genau eine Z-Spannung von 6,8 V haben. Für andere Spannungen gibt Bild 1.23 die entsprechende Beziehung wieder (U_F ist die Flußspannung der zum gleichen Brückenzweig gehörenden Leuchtdiode je nach ihrer Farbe). Im vorliegenden Fall ist $U_{V3} + U_{V4} = 13{,}6$ V. Solange die Speisespannung unter 13,6 V bleibt, sind somit beide Z-Dioden gesperrt. Über $R1$, LED V5, $R2$ fließt ein Strom, der V5 (Anzeige „Unterspannung") aufleuchten läßt. Sobald die Speisespannung 13,6 V überschreitet, führen V3 und V4 Strom, womit die Brücke ins Gleichgewicht kommt; die LED V5 und V6 können jetzt wegen der zu geringen Spannung im Brückenquerzweig nicht mehr leuchten. Bei weiter ansteigender Spannung verändert sich, da die Spannung über den Z-Dioden konstant bleibt, das Brückengleichgewicht. V5 wird in Sperrichtung, V6 in Durchlaßrichtung vorgespannt. Bei 15,2 V leuchtet V6 auf, was Anzeige „Überspannung" bedeutet. $R3$ begrenzt dabei den Strom durch die LED V6. Die in Durchlaßrichtung betriebenen Dioden V1, V2 engen den „toten" Bereich (beide LED erloschen) auf etwa 1,6 V ein. Dieser Totbereich läßt sich durch Überbrücken von V1 auf etwa 1,4 V und durch Überbrücken beider Dioden auf etwa 3,2 V vergrößern. Die Stromaufnahme dieser Schaltung auf dem Kfz-Bordnetz liegt bei maximal etwa 50 mA. Wie die Funktionsbeschreibung erkennen läßt, kann man durch Auswahl anderer Z-Dioden auch andere Grenzwerte festlegen und mit V1, V2 den Sollspannungsbereich beeinflussen.

1.6.3. LED-Leuchtzeilen

Im kommerziellen Bereich haben sich inzwischen Anzeigevorrichtungen eingebürgert, die aus mehreren in einer Reihe angeordneten LED bestehen. Sie sind auch für den Amateur inter-

essant. Der darzustellende Meßwert kann dabei entweder als wandernder Lichtpunkt auf dieser „LED-Skale" gleiten oder auch als zunehmende Anzahl von LED (Leuchtbandskale) aufleuchten. Beide Varianten haben Vor- und Nachteile. Die Leuchtbandskale ist zwar sinnfälliger und läßt sich deutlicher ablesen, sie wird aber bei größerer Anzahl der Leuchtdioden (deren Anzahl die mögliche Auflösung der Meßgröße begrenzt) bald zum „Stromfresser", da sich die einzelnen LED-Ströme addieren. Die Punktbetriebsweise dagegen hat den Vorteil geringeren Stromverbrauchs (es wird stets nur der Strom für 1 LED benötigt), läßt sich jedoch schlechter ablesen. Solche Anzeigen eignen sich für alle die Fälle, bei denen eine die Meßgröße abbildende Gleichspannung in eine dazu proportionale Linearskalenanzeige umgesetzt werden soll. Die Auflösung (Anzahl der unterscheidbaren Signalwertstufen) beträgt dabei je nach Schaltungsprinzip entweder n Wertstufen oder $(2n - 1)$ Wertstufen (mit n = Anzahl der vorhandenen LED), hängt also von der Anzahl der verwendeten LED ab. Dafür sind bei einer größeren Anzahl von LED u. U. sehr aufwendige Ansteuerschaltungen erforderlich, wenn das mit diskreten Bauelementen realisiert werden soll. Ein interessantes und relativ bauelementesparendes Verfahren ist in [6] beschrieben.

Bild 1.24 zeigt eine Variante mit vergleichsweise geringem Aufwand, die eine Leuchtbanddarstellung ergibt und für einfachere Anzeigezwecke (wie NF-Pegelanzeiger u. ä.; unterscheiden lassen sich etwa 9 Pegelwerte) ausreicht. Sie ist für 5 LED ausgelegt (die im Hinblick auf die Schaltungsdimensionierung nur etwa 1,6 ... 1,8 V Flußspannung haben, also vom rotleuchtenden Typ sein sollen), die — mit LED V11 beginnend — zunehmend zugleich aufleuchten. Da sie gleitend aufleuchten, lassen sich damit 9 Zwischenwerte unterscheiden. Die Eingangsspannung Ue wird im Bereich 0 ... 1 V, beginnend mit LED V11, in 0,2-V-Schritten angezeigt. Beim Anstieg der Eingangsspannung werden V1 bis V5 nacheinander gesättigt; ihre Kollektorströme treiben die LED. Die Summe der LED-Ströme fließt über den 20-Ω-Emitterwiderstand von V1 ab. Für den zugrunde gelegten LED-Strom von 10 mA stehen über diesem Widerstand somit je Stufe 0,2 V.

Über Diode V8, die sowohl den Gegenkopplungszweig schließt als auch die Emitter-Offset-Spannung von V7 kompensiert (womit die Spannung am 20-Ω-Widerstand stets gleich Ue ist), wird das Emitterpotential von V7 stets dem von V1 nachgeführt, so

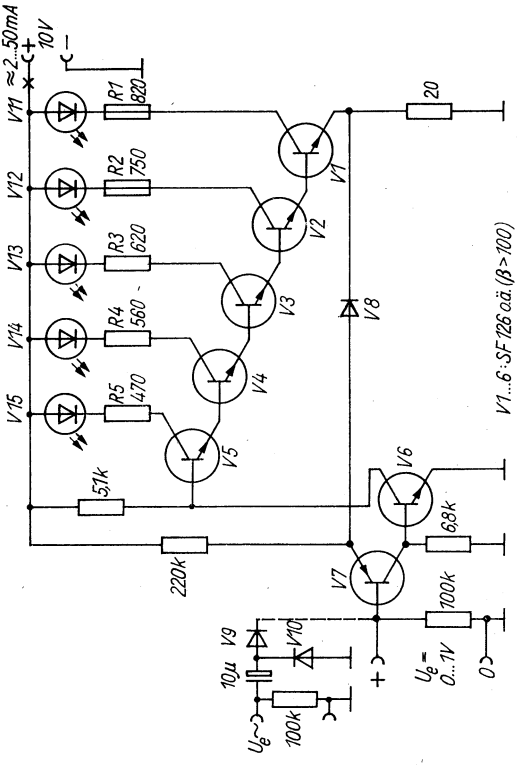


Bild 1.24 LED-Linearskalenanzeige (Leuchtbandanzeige)

daß die Schaltung exakt linear arbeitet und kein Abgleichen erfordert. Die LED-Ströme werden nach den gegebenen Spannungsverhältnissen mit $R1$ bis $R5$ festgelegt (mit entsprechend variierter Bemessung läßt sich ggf. auch ein nichtlinearer Skalenverlauf erreichen).

Die Speisespannung geht bei dieser Schaltung in die Anzeige ein und sollte daher bei hoher Genauigkeitsforderung stabilisiert sein. Falls ein Abgleich auf vorgegebene Ue-Werte erwünscht ist, kann entweder der 20-Ω-Emitterwiderstand des V1 um maximal $\pm 5\,\Omega$ geändert werden, oder man legt den 100-kΩ-Eingangswiderstand an der Basis des V7 als Einstellwiderstand aus. Für einfache NF-Pegelanzeiger, bei denen eine Darstellung in Pegel-

stufen ausreicht, ist in Bild 1.24 punktiert noch die Schaltung eines Wechselspannungseingangs ($Ue\sim$, V9, V10) dargestellt. Den LED können dann entsprechende Pegelstufen in dB fest zugeordnet werden. Es wird dabei eine Spannungsverdopplerschaltung benutzt, so daß bei $Ue\sim$ eine Effektivspannung von etwa 0,5 V$\sim$ für volle Aussteuerung ausreicht. Eine für derartige Anwendungen gegebenenfalls erwünschte Abklingträgheit der Anzeige kann man durch Parallelschalten eines Elektrolytkondensators (10 ... 100 μF) zum 100-kΩ-Widerstand zwischen Basis V7 und Masse erreichen.

Im Hinblick auf die Schaltungsdimensionierung ist die Anzahl der möglichen LED bei einfachen Schaltungen entsprechend Bild 1.24 begrenzt. Um den Bauelemente- und (äußeren) Schaltungsaufwand für Anzeigen mit feiner gestuften Skalen (größere LED-Anzahl) auf ein vertretbares Maß zu reduzieren, verwendet die Industrie spezielle LED-Ansteuerschaltkreise. Aus DDR-Fertigung steht dafür der Ansteuerschaltkreis *A 277 D* zur Verfügung, der bis zu 12 LED je Schaltkreis anzusteuern gestattet und wahlweise Punkt- oder Bandbetrieb ermöglicht. Zur näheren Information über diesen auch für Amateurzwecke sehr interessanten Schaltkreis (der nur sehr wenig äußere Beschaltung benötigt, den Bauelementeaufwand also entscheidend reduziert) sei auf die Herstellerunterlagen und zugehörigen Applikationsbeispiele verwiesen [7], [8], [9]. Es wird deshalb nur eine Kurzbeschreibung der wichtigsten Eigenschaften gegeben. Bild 1.25 zeigt die Standardbeschaltung des *A 277 D*. Es lassen sich je Schaltkreis bis 12 LED anschließen (bei Bedarf auch weniger), wobei — abgesehen von der unteren Betriebsspannungsgrenze — keine Einschränkung bezüglich der Flußspannung besteht, d. h., man kann vorteilhaft auch verschiedenfarbige LED (etwa zum Signalisieren des Über- oder Unterschreitens von Grenzwerten) in einer Leuchtzeile kombinieren. Schon hier sei darauf hingewiesen, daß sich mehrere (praktisch wenigstens 3) dieser Schaltkreise kaskadieren lassen, so daß man problemlos bis zu 36stufige Leuchtskalen aufbauen kann. Dafür sei wiederum auf die genannten Literaturstellen verwiesen, die das eingehend behandeln. Wie Bild 1.25 erkennen läßt, enthält der *A 277 D* interne Konstantstromquellen für die LED-Speisung, so daß die LED keine äußeren Vorwiderstände mehr benötigen. Die Auswahl der gewünschten Betriebsweise (Punktbetrieb mit jeweils nur einer

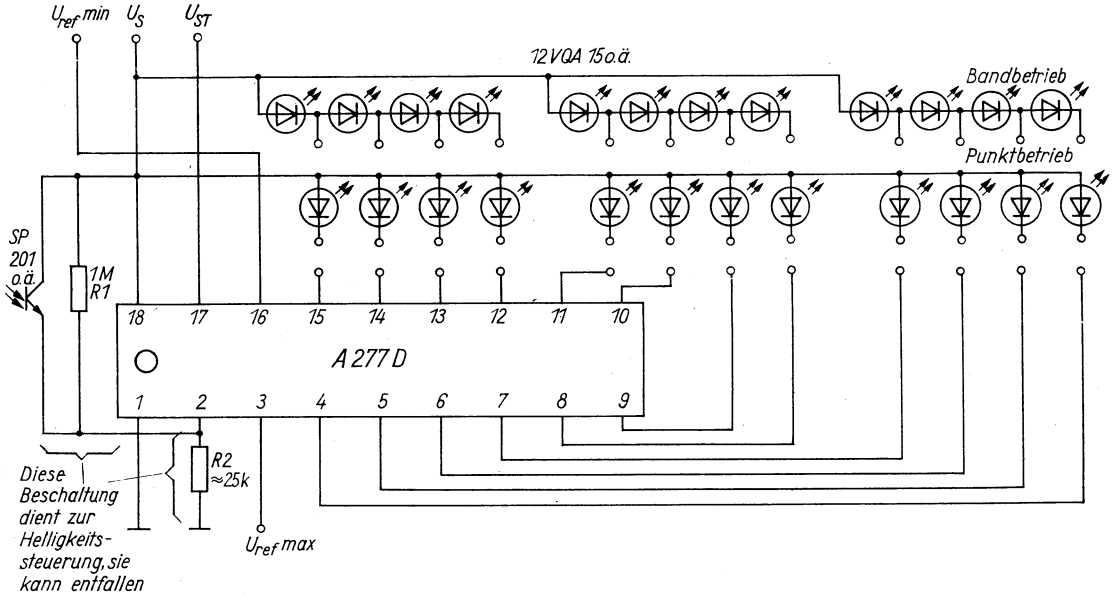


Bild 1.25 Prinzipielle Anwenderschaltung und Anschlußlage für den LED-Ansteuerschaltkreis *A 277 D*. Ob Band- oder Punktbetrieb stattfindet, entscheidet die gewählte Anschlußweise der Leuchtdioden

leuchtenden LED; dabei ergibt sich bei Zwischenwerten ein gleitender Übergang; sowie Bandbetrieb mit zunehmender Anzahl leuchtender Dioden) geschieht lediglich durch Wahl der entsprechenden Anschlußweise, wie Bild 1.25 für beide Fälle zeigt. Bei Punktbetrieb liegen anodenseitig alle LED parallel, bei Bandbetrieb werden sie als Serienschaltungen in Gruppen zu je 4 LED (mehr ist im Hinblick auf die Speisespannung wegen der sich dabei addierenden LED-Flußspannungen nicht möglich) betrieben. Das hat den Vorteil erheblicher Stromersparnis (bei 12 leuchtenden LED fließt nur der dreifache Betriebsstrom einer LED). Die Betriebsweise (Punkt/Band-Betrieb) wird automatisch intern umgeschaltet, wobei der Schaltkreis aus der zwischen den Anschlüssen 14 und 15 je nach gewählter Schaltungsweise auftretenden LED-Flußspannungsdifferenz die gewünschte Betriebsweise „erkennt".

Die Betriebsspannung Us kann für Punktbetrieb zwischen 5,5 bis 18 V gewählt werden; bei Bandbetrieb beträgt der Mindestwert für Us — abhängig von Leuchtfarbe und Flußspannung der LED — etwa 10 V (für rotleuchtende Dioden). Us braucht nicht stabilisiert zu sein. Die Steuerspannung Ust — der Meßgröße proportionale Gleichspannung — wird am Anschluß 17 zugeführt. Diese Spannung vergleicht der Schaltkreis intern mit einer Referenzspannung, wozu eine Kette von Komparatoren an einem internen Spannungsteiler zwischen $U\mathrm{ref}_{\mathrm{min}}$ und $U\mathrm{ref}_{\mathrm{max}}$ wirkt. Mit den außen bereitzustellenden (und über Widerstandsteiler von einer beliebigen, im allgemeinen stabilisierten Vergleichsspannung abzuleitenden) Referenzspannungen $U\mathrm{ref}_{\mathrm{min}}$ und $U\mathrm{ref}_{\mathrm{max}}$ legt man also nach Bedarf die Ansprechgrenzwerte (Aufleuchten der ersten LED V1, wenn Ust = $R\mathrm{ref}_{\mathrm{min}}$; Aufleuchten der letzten LED V12, wenn Ust = $U\mathrm{ref}_{\mathrm{max}}$) so fest, daß der interessierende Eingangsspannungsbereich für Ust erfaßt wird. Dabei darf $U\mathrm{ref}_{\mathrm{min}} = 0$ sein und die Differenz $U\mathrm{ref}_{\mathrm{max}} - U\mathrm{ref}_{\mathrm{min}}$ im Bereich 1,2 ... 6,2 V gewählt werden. Eine Kaskadierung mehrerer *A 277 D* (wenn mehr als 12 LED gefordert sind) läuft daher im wesentlichen auf entsprechend unterschiedlich festgelegte Referenzspannungen hinaus, wobei die Eingänge Ust der kaskadierten Schaltkreise parallelgelegt werden können. Alle Eingänge sind hochohmig und belasten die Spannungsquellen mit typisch weit unter 1 μA. Der Schaltkreis bietet darüber hinaus weitere schaltungstechnische Möglichkeiten, die ebenfalls in [7], [8], [9] eingehend be-

schrieben werden. Hier soll nur eine dieser Möglichkeiten kurz erwähnt werden. Wie schon erwähnt, wird der LED-Strom intern konstantgehalten. Mit Anschluß 2 des Schaltkreises ist eine Möglichkeit gegeben, diesen Strom zur Helligkeitsregelung der LED-Skale zu beeinflussen (auch andere Steuerungen, z. B. Blinken der Skale bei bestimmten Betriebszuständen, lassen sich über diesen Anschluß bequem realisieren). Wird — in der Normalanwendung — Anschluß 2 freigelassen, so ergibt sich ein mittlerer LED-Strom von etwa 10 mA. Er kann mit einer Spannung $U2$ am Anschluß 2 des *A 277 D* zwischen 0 ... 1,5 V im Bereich zwischen 0 und etwa 23 mA eingestellt werden. Höhere Spannung $U2$ entspricht dabei zunehmender LED-Helligkeit.
Eine mögliche Anwendung ist in Bild 1.25 mit angegeben. Man kann mit einem Fototransistor (*SP 201* o. ä.) eine automatische Helligkeitssteuerung erreichen. Der Fototransistor wird dazu am günstigsten bei der LED-Zeile montiert, so daß er dieselbe Umgebungshelligkeit wie die Skale erhält. Mit zunehmendem Umgebungslicht wird dann auch die LED-Anzeige zunehmend heller. Die Grundhelligkeit (bei abgedunkeltem *SP 201*) kann mit $R2$ festgelegt werden, die Maximalhelligkeit nötigenfalls mit $R1$. Unter Verzicht auf automatische Helligkeitssteuerung mit *SP 201* kann man $R2$ als Einstellwiderstand (100 kΩ) zur manuellen Helligkeitswahl auslegen. Eine einfache Ein/Aus-Schaltung der Anzeige läßt sich unter Verzicht auf $R1$, $R2$ und den Fotowiderstand sehr einfach durch Anschließen eines Schaltkontakts (oder den Kollektor eines Schalttransistors, der beliebig angesteuert werden kann) nach Masse erreichen.
Zur Verwendung mit derartigen Leuchtband- oder Punktskalen eignen sich insbesondere die aufreihbaren (rechteckigen) LED-Bauformen *VQA 14/24/34* und *VQA 18/28/38* sowie *VQA 15/25/35* (jeweils rot/grün/gelb), aber auch alle anderen LED-Typen. Ein Anwendungsbeispiel für einen Kfz-Drehzahlmesser enthält [10]; dieses Gerät ist mit einem *A 277 D* und einem *A 301 D* bestückt.

1.6.4. Ansteuerung von LED-Ziffernanzeigen

Die Ansteuerung von Ziffern- und Zeichenanzeigen mit LED (Bauformen nach Bild 1.6. bis Bild 1.8 und Bild 1.10 u. ä.) erfordert — wenn sie mit diskreten Bauelementen vorgenommen

werden soll — einen beachtlichen Bauelementeaufwand. In [1] wurden dafür einige Beispiele gezeigt. Weitere Anwendungsbeispiele, u. a. auch für die Darstellung einiger Buchstaben und Sonderzeichen (die mit der für Ziffernanzeigen verwendeten 7-Segment-Konfiguration ebenfalls möglich ist) sind in [5] enthalten. Für den Amateur haben diese diskret aufgebauten Ansteuerschaltungen — außer in Sonderfällen — an Bedeutung verloren, nachdem ihm die bekannten Dekoderschaltkreise der TTL-Serie *D 146*, *D 147* [5] zur Verfügung stehen. Ihre Anwendung und Schaltungstechnik überschreitet die Thematik des vorliegenden Bandes, so daß auf eine eingehende Beschreibung verzichtet wird. Ausgangsseitig enthalten diese Schaltkreise Treibertransistoren für die LED-Ansteuerung mit „offenen Kollektoren", die nach Masse durchschalten. Deshalb wird je LED-Segment der Ziffernanzeige ein Vorwiderstand zur Strombegrenzung benötigt. Erwähnt sei, daß international auch einige derartige Dekoderschaltkreise für LCD- und LED-Ansteuerung, u. a. in CMOS-Technik (z. B. *HEF 4543 B*) angeboten werden. Diese bieten eine ausgangsseitige Umschaltmöglichkeit (L-aktiv oder H-aktiv) und sind daher auch zur Ansteuerung von LED-Ziffernanzeigen mit gemeinsamer Katode oder von LCD-Ziffernanzeigen geeignet. Des weiteren gibt es entsprechende Schaltkreise, die — ähnlich dem *A 277 D* — integrierte Konstantstromquellen für die LED-Segmente enthalten, so daß dann auf äußere Vorwiderstände verzichtet werden kann. Für weitergehende Information zur Ansteuerung von 7-Segment-Ziffernanzeigen sei auf [1] und [5] verwiesen.

1.6.5. Durchgangs- und Isolationsprüfer für Widerstände bis $\geq 100\ M\Omega$

Für Isolationsprüfungen (Kabel, Kondensatoren, Nebenschlüsse auf Leiterplatten usw.) eignen sich einfache Nachweisschaltungen mit Ja/Nein-Aussage recht gut. Sie können mit LED besonders einfach und stromsparend aufgebaut werden. Bild 1.26 zeigt einen solchen Durchgangsprüfer, bei dem die LED V3 je nach β-Werten der Transistoren schon bei Widerständen (zwischen den Klemmen R_X) unterhalb 5 bis 20 MΩ mit einem Aufleuchten reagiert. V1, V2 sind als komplementäre *Darlington*-Stufe geschaltet,

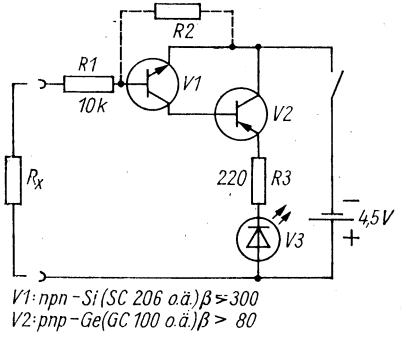


Bild 1.26
Schaltung zum Nachweis hoher Widerstandswerte bei R_X

wobei die in Bild 1.26 angegebenen hohen β-Werte nur erforderlich sind, wenn Widerstände oberhalb etwa 1 MΩ noch angezeigt werden sollen. Die Schaltung kann man auch für andere Spannungen auslegen, dabei ist lediglich R3 zu ändern (für 12 V beträgt R3 z. B. etwa 1 kΩ). Falls für V2 ein pnp-Silizium-Transistor (*KF 517*, *KFY 18* o. ä.) verfügbar ist, liegt die Ruhestromaufnahme des Gerätes (R_X offen) bei höchstens 2 bis 3 μA, so daß auf den Batterieeinschalter dann verzichtet werden kann. Das ganze Gerät wird man bei Verwendung entsprechend kleiner Batterieformen (NC-Knopfzellen oder Gnomzellen) als kleinen handlichen Prüfstift aufbauen. Die obere Nachweisgrenze (höchster noch angezeigter R_X-Wert) kann mit einem zusätzlichen Widerstand R2 auf einen vorgegebenen Wert festgelegt werden. R2 ist dementsprechend zu erproben (0,5 bis 100 kΩ je nach gefordertem R_X-Höchstwert). Diese zusätzliche Maßnahme ist auch

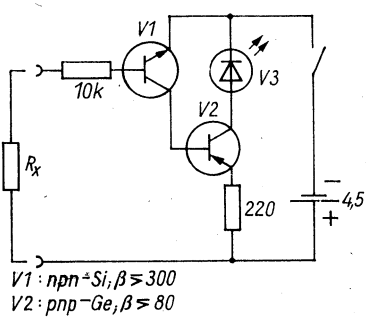


Bild 1.27
Schaltung ähnlich Bild 1.26, jedoch ist hier die LED auch bei Unterschreiten eines Mindestwerts für R_X erloschen

in Bild 1.27 und Bild 1.28 ebenso anwendbar (dort nicht eingezeichnet). Mit 12 V Betriebsspannung läßt sich die Nachweisgrenze bis etwa 50 MΩ realisieren.

Die Schaltung nach Bild 1.27 arbeitet prinzipiell ebenso, weist aber zusätzlich die Eigenschaft auf, daß die LED V3 nicht nur erloschen ist, wenn R_X den oberen Nachweisgrenzwert (ebenfalls bei 5 bis 10 MΩ) überschreitet, sondern auch bei Unterschreiten eines bestimmten Mindestwertes für R_X bzw. bei Kurzschluß der R_X-Klemmen. Der Wert für R_X, unterhalb dessen V3 wieder verlischt, hängt von den Transistor-Exemplardaten ab und kann zwischen 10 und 100 kΩ liegen. Er ist ebenfalls mit zusätzlichem R2 entsprechend Bild 1.26 zu beeinflussen. Diese Schaltung ermöglicht daher die Unterscheidung von Isolationsmängeln und niederohmigen Verbindungen bzw. Kurzschlüssen. Die Wirkungsweise ist einfach: Wenn $R_X = \infty$ ist, sind V1, V2 gesperrt, die LED V3 erloschen. Unterschreitet R_X seinen oberen Grenzwert, so reicht der über R_X vom Kollektor V1 bewirkte Basisstrom für V2 aus, die LED leuchtet. Falls nun R_X einen unteren Grenzwert unterschreitet, wird V1 so weit gesättigt, daß die Kollektor-Emitter-Spannung dieses Transistors den Wert der LED-Flußspannung unterschreitet. Der Transistor V1 schließt LED V3 kurz.

Bild 1.28 zeigt eine erweiterte Schaltung nach dem gleichen Prinzip mit zwei LED. Sobald R_X den oberen Grenzwert unterschreitet, leuchtet zunächst LED V3 auf. Wie bei den vorangegangenen Varianten liegt der maximal anzeigbare R_X-Wert wieder bei 5 bis 10 MΩ. Unterschreitet R_X einen unteren Grenzwert (je nach Transistordaten und eventueller Anwendung des

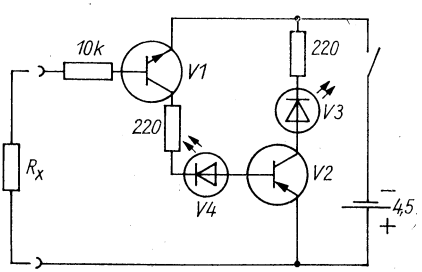


Bild 1.28
Schaltung zum Nachweis hoher Widerstandswerte, bei kleinen R_X-Werten leuchtet zusätzlich LED V4 auf

R2 nach Bild 1.26 liegt dieser bei 10 bis 100 kΩ), so leuchtet zusätzlich zu LED V3 noch LED V4 auf. Diese Schaltung gestattet daher eine sichere Unterscheidung zwischen den Extremfällen „kein Durchgang" ($R_x \geq 10$ MΩ), „Isolationsfehler" und „Durchgang" ($R_x < 50$ kΩ).
Besonders einfach und für den Nachweis sehr hoher Widerstände geeignet ist der mit MOSFET bestückte Tester nach Bild 1.29. Für den MOSFET ist neben dem (günstigsten) Typ *SMY 52* auch der *SMY 50* oder 1 System eines *SMY 51* geeignet. Die hierfür notwendige Betriebsspannung muß wegen der MOSFET-Daten wenigstens 10 V, maximal etwa 24 bis 25 V betragen. Der im Ruhestand gesperrte MOSFET V1 erhält über R_x seine Gatevorspannung. Die obere Anzeigegrenze hängt hier von der Bemessung des Gatewiderstandes R_g ab. Man muß ihn also je nach Anwendungsfall bemessen. Mit $R_g = 100$ MΩ können bereits R_x-Werte bis etwa 150 MΩ nachgewiesen werden. Grundsätzlich sind für R_g und R_x noch erheblich höhere Werte möglich, jedoch bedingt dies einen entsprechenden Hochohmwiderstand für R_g sowie den sorgfältigen, extrem gut isolierten Aufbau der Schaltung. Bei einer Betriebsspannung von 12 V ist die obere Nachweisgrenze für R_x etwa gleich dem für R_g gewählten Wert.

1.6.6. NF-Pegelanzeiger mit LED-Spitzenwertanzeige

Für NF-Verstärker, Mischpulte, Magnettongeräte sind Aussteuerungsmeßgeräte erforderlich. Die meisten benutzen Zeigerinstrumente der Heimelektronik und vieler Eigenbaugeräte sind

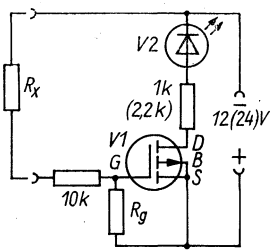


Bild 1.29
Schaltung zum Nachweis extrem hoher R_x-Werte mit MOSFET

jedoch oft zu träge, um kurzzeitige Pegel-Übersteuerungsspitzen anzuzeigen. Für die korrekte Anzeige kurzer Pegelspitzen ist ein erheblicher Aufwand erforderlich, der für den Amateur oft nicht lohnt. Nachfolgend wird eine elektronische Spitzenwertanzeige vorgestellt, die auf kürzeste Übersteuerungsspitzen mit Blinklicht reagiert, aber unterhalb dieser Pegelgrenze keine Aussteuerungskontrolle ermöglicht. Anzeige-LED sind so klein, daß man sie fast immer unmittelbar in oder hinter dem Skalenblatt eines üblichen Meßinstruments anordnen kann. Wird diese Anzeige mit einer einfachen Schaltung für ein Zeigerinstrument kombiniert, so erhält man einen einfachen Pegelmesser, der den Mittelwert der Aussteuerung (VU-Messung, vom engl. „volume") mit Zeiger darstellt. Kurzdauernde Übersteuerungen, auf die das Instrument nicht mehr reagiert, werden dann von der im Skalenblickfeld angeordneten LED durch auffälliges Blinken registriert.
Bild 1.30 zeigt die kombinierte Schaltung. Sie besteht aus dem

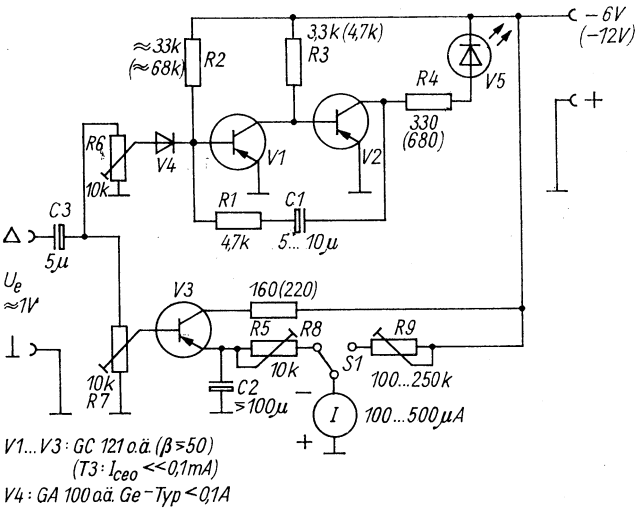


Bild 1.30 Kombinierter Stromlaufplan eines NF-Pegelmessers. Mittelwertanzeige (VU-Messung) mit Zeigerinstrument und Spitzenwertanzeige mit LED. Die LED wird zweckmäßig im Skalenblatt des Meßinstruments angeordnet

Blinkanzeigeteil V1, V2, LED V5 und dem Aussteuerungsmesser mit V3 und Meßinstrument I.
Das Schaltungsprinzip der Blinkschaltung entspricht einem durch die NF-Pegelspitzen ausgelösten monostabilen Multivibrator. Mit S1 kann das Meßinstrument gleichzeitig zur Batteriekontrolle benutzt werden (auf Vollausschlag bei frischer Batterie mit R9 einstellen). Bei tragbaren Magnettongeräten ist dies vorteilhaft. V3 arbeitet als gleichrichtende Kollektorstufe für die bei U_e angelegte NF-Spannung, so daß an C2 eine dem Scheitelwert der NF-Spannung proportionale Gleichspannung entsteht, die das Meßinstrument registriert. Der Wert von C2 beeinflußt dabei die Trägheit der Anzeige (Zeigerrücklauf), man kann ihn nach bester Ablesbarkeit festlegen. Mit R7 (Grobeichung, evtl. Festwerte) und R8 (Feineichung) wird so abgeglichen, daß bei maximalem NF-Pegel (entsprechend Vollaussteuerung) das Instrument I bis zu einer bei etwa 80% Skalenlänge angebrachten roten Marke ausschlägt. Danach ist bei unverändert anliegendem NF-Pegel (Sinuston von einem geeigneten Tongenerator, etwa 1 kHz) R6 so einzustellen, daß die LED gerade blinkt, wenn der Instrumentenzeiger auf der erwähnten Marke steht. Die Blinkdauer der LED kann man mit C1 und R1 beeinflussen, sie sollte etwa 0,3 s betragen. Die LED bleibt erloschen, solange die Vollaussteuerung nicht erreicht wird, blinkt aber auch bei einzelnen kürzeren Spannungsspitzen an U_e, wenn diese den Vollaussteuerungswert überschreiten. Bei anhaltender Übersteuerung blinkt die LED ständig, bei sehr starker Übersteuerung wird Dauerlicht angezeigt. Je nach Zusammensetzung der NF-Aufnahme kann es vorkommen, daß die LED bereits blinkt, wenn das Instrument noch relativ geringen Zeigerausschlag hat (z. B. bei Sprachaufnahmen, Zischlauten mit starker Höhenanhebung). Das verdeutlicht noch einmal drastisch die Grenzen der einfachen Instrumentanzeige und ermöglicht somit auch bei relativ trägen Instrumenten einwandfreie Pegeleinstellung. Die für 12 V gültigen R-Werte sind in Bild 1.30 in Klammern angegeben. R2 hängt von den Exemplardaten des V1 ab, er ist gegebenenfalls so auszuprobieren, daß sicherer Blinkbetrieb erfolgt. Die Schaltung kann auch für positive Betriebsspannungen benutzt werden. Man muß sie dann mit npn-Silizium-Transistoren (*SC 236* o. ä.) aufbauen. V5, C1, D1, C2 und I sind für diesen Fall umzupolen. Die R-Werte können unverändert übernommen werden. Allerdings ist für diese Be-

stückung eine Eingangsspannung von mindestens 1,5 V~ bei U_e erforderlich. Für V4 benutzt man dann eine Silizium-Diode (*SAY 32* o. ä.). Funktionell stellt diese Kombination ein VU-Meter mit optischer Spitzenwertanzeige dar.

1.6.7. Helligkeits-Modulatorschaltungen für LED

Die mit dem Auge wahrgenommene Helligkeit einer LED steht mit dem LED-Strom in keinem linearen Zusammenhang. Es ist deshalb im allgemeinen günstiger, wenn die Helligkeit einer LED nicht durch analoge Stromstärkeänderung, sondern z. B. durch rasche periodische Aus- und Einschaltung beeinflußt wird. Das Auge registriert entsprechend der relativen Zeitdauer von Hell- und Dunkelzeit einen scheinbaren mittleren Helligkeitswert, und bei ausreichend hoher Impulsfrequenz ist kein störendes Flimmern erkennbar. Dabei erfolgt eine 100%ige Ein/Aus-Modulation des LED-Lichts. Dieses Verfahren wird durch Speisung der LED mit einer Rechteckspannung mit veränderlichem Tastverhältnis realisiert. Man verwendet es für die Einstellung des visuellen Helligkeitseindrucks, insbesondere bei mehrteiligen LED-Anzeigen (Ziffernanzeigedisplays!). Es hat den Vorteil, unabhängig vom jeweils fließenden LED-Gesamtstrom (bei 7-Segment-Displays: Anzahl der eingeschalteten Segmente) zu sein. Von dieser Anwendung zu unterscheiden ist eine analoge Helligkeitsmodulation, z. B. zur Übertragung von Signalen, Steuerbefehlen u. ä.
Die analoge Helligkeitsmodulation wird zweckmäßig durch Variieren der LED-Speisespannung um ihren Mittelwert (nicht

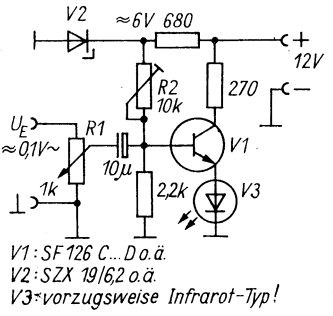


Bild 1.31
Lichtmodulationsschaltung für analoge Helligkeitsmodulation von LED. Geeignet zur optischen Übertragung von NF (Lichttelefonie, Fernsteuerung)

des Stromes) vorgenommen. Wie die LED-Kennlinie (Bild 1.11) zeigt, genügen dann schon geringe Modulationsspannungen (Größenordnung $\pm$ 0,1 V), um in der LED große Stromfluß-änderung und damit große Helligkeitsänderung zu bewirken. Bild 1.31 zeigt eine für derartige Zwecke (NF-Übertragungen) geeignete Schaltung. Die LED V3 liegt im Emitterkreis des als Impedanzwandler arbeitenden Modulationstransistors V1. Die LED kann für derartige Übertragungszwecke sehr vorteilhaft auch eine Infrarot-LED sein (für spezielle Zwecke werden derartige LED mit möglichen Modulationsfrequenzen bis zu einigen 100 MHz gefertigt!). Für NF-Übertragung genügt bereits jede beliebige LED, vorausgesetzt, sie ist ausreichend lichtstark, bzw. man verfügt über den spektral dazu passenden Lichtempfänger (siehe Abschnitt 1.5.2.). Mit R2 (Bild 1.31) wird für die LED je nach notwendiger Reichweite der Übertragung ein mittlerer Helligkeitsgrad, maximal etwa das 0,5fache des vom Hersteller für die LED zugelassenen Dauergrenzstromes, i. allg. also maximal 10 mA, gemessen in der Emitterleitung von V1, eingestellt. Da dieser Arbeitspunkt konstant bleiben muß, ist die Basisvorspannung mit einer Z-Diode V2 zu stabilisieren. Die LED-Flußspannung läuft der Basisspannung von V1 direkt nach. Die LED V3 kann daher an der Basis V1 unmittelbar von U_e mit maximal etwa 0,1 V moduliert werden. R1 ist der Modulationsgradregler, ihn stellt man so ein, daß empfängerseitig noch keine Verzerrungen (durch Betrieb der LED im gekrümmten Kennlinienteil, siehe Bild 1.11) auftreten. Versuche haben gezeigt, daß mit dieser Schaltung bereits normale rotleuchtende Anzeige-LED (Typ *VQA* 13 und ähnliche) verzerrungsfrei und mit praktisch linearem Frequenzgang bis weit über 30 kHz modulierbar sind. Werden Infrarot-LED benutzt, so sind für größere Übertragungsentfernungen senderseitig und auch empfängerseitig die von normalen Glühlampen-Lichtschranken her bekannten optischen Bündelungsmaßnahmen ([4]) notwendig. Für die LED eignet sich wegen deren nahezu punktförmig emittierender Fläche eine kurzbrennweitige Sammellinse besser als ein Hohlspiegel. Gleiches gilt für die Empfängerseite, die sehr vorteilhaft mit einem Fototransistor bestückt werden kann. Es sind dann durchaus die von „Glühlampen-Lichttelefon" her dem Amateur geläufigen Entfernungen erreichbar. Das hier geschilderte Prinzip wird übrigens bei einigen ausländischen Geräten der Heimelektronik dazu benutzt, um den

Ton, z. B. eines HiFi-Verstärkers oder Fernsehgeräts, drahtlos auf Kopfhörer zu übertragen. Am Verstärker bzw. Empfänger befindet sich dabei ein Infrarot-Lichtsender ähnlich Bild 1.31, am Kopfhörer ist ein kleiner Lichtempfänger mit Fototransistor, NF-Verstärker und kleiner Batterie befestigt. Falls der Amateur über Infrarot-LED verfügt, bietet sich ihm also auch in dieser und vielen ähnlichen Richtungen ein recht lohnendes Experimentierfeld. So sei z. B. darauf verwiesen, daß wegen der erreichbaren hohen Modulationsfrequenzen über Sender gemäß Bild 1.31 auch Modellfernsteuersignale mit den üblichen Modulationsfrequenzen problemlos übertragbar sind. Da die LED im Gegensatz zur

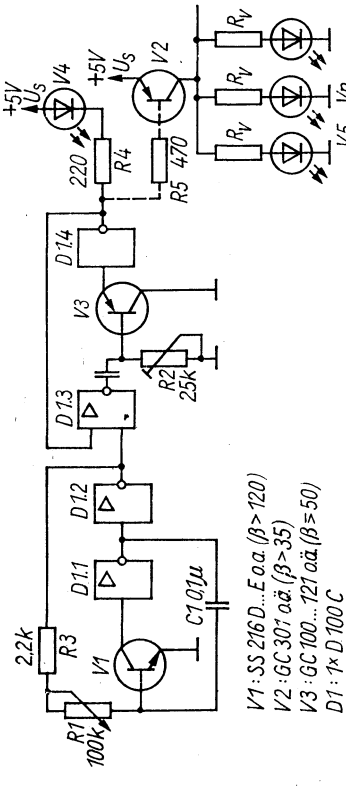


Bild 1.32 Helligkeitseinstellung von Anzeige-LED nach dem Prinzip des regelbaren Impulstastverhältnisses. Die LED wird für jeweils 0,2 ms voll eingeschaltet, die Ausschaltdauer ist regelbar. Aufbau mit integriertem Schaltkreis für Direktbetrieb einer LED. Für mehrere LED wird V2 erforderlich. Zur Wirkungsweise der hier benutzten digitalen Grundschaltungen siehe auch [5]. Der Kondensator oberhalb *R*2 hat 10 nF

Glühlampe eine weitaus höhere Modulationstiefe ermöglicht, sind die erzielbaren Reichweiten angesichts der geringen LED-Leistung erstaunlich groß. Wie das Beispiel des drahtlosen Kopfhörers beweist, gelingt dies auf einige Meter Entfernung sogar ohne eine, in diesem Fall nicht mögliche, besonders gute optische Bündelung.

Eine Schaltung für Helligkeitssteuerung von Anzeige-LED nach dem einleitend genannten Impulstastverfahren zeigt Bild 1.32. Sie ist, da sie ohnehin vorwiegend im Zusammenhang mit Ziffernanzeigeeinheiten und TTL-Schaltungen benötigt wird, in TTL-Technik mit einem integrierten Schaltkreis *D 100 C* ausgeführt. Gatter D1.1 und D1.2 bilden mit V1 einen einfachen Impulsgenerator (Taktgeber), dessen Frequenz mit R1 zwischen 100 Hz und 5 kHz regelbar ist. Am Ausgang von D1.2 stehen bei dieser Schaltung sehr kurze negative Impulse der mit R1 gewählten Folgefrequenz zur Verfügung. D1.3 und D1.4 bilden einen monostabilen Multivibrator, dessen Haltezeit (Ausgangsimpulslänge) mit R2 einstellbar ist. Mit V3, der zugleich die sonst an dieser Stelle erforderliche Schutzdiode ersetzt, kann man die zeitbestimmenden Glieder günstiger dimensionieren und abgleichen. Die mit R2 einzustellende Haltezeit beträgt etwa 0,2 ms. Immer wenn der Eingang des D1.3 vom Taktgeber einen negativen Impuls erhält, schaltet der Ausgang des D1.4 für die Zeitdauer 0,2 ms auf „Tief", wobei über R4 V4 eingeschaltet wird. Sie leuchtet also stets 0,2 ms lang auf und verlischt dann wieder, bis der nächste Taktgeberimpuls den Monoflop wieder auslöst. Entsprechend der mit R1 (Helligkeitsregler) einstellbaren Frequenz folgen die Auslöseimpulse entweder im Abstand von 0,2 ms aufeinander (dann bleibt der Monoflop praktisch ständig in Arbeitslage, LED V4 ist ständig eingeschaltet) oder entsprechend langsamer, bis zu 10 ms Abstand. In letzterem Fall wird demzufolge die LED V4 alle 10 ms für je 0,2 ms eingeschaltet und ist die übrige Zeit dunkel, was einem Ein/Aus-Verhältnis von 1:50 entspricht. Hierbei ist visuell gerade noch ein schwaches Aufleuchten der LED erkennbar. Die Aufteilung in Taktgeber und Monoflop, die sich wegen der in dem IS *D 100 C* ohnehin vorhandenen 4 Gatter anbietet, hat den Vorteil, das Tastverhältnis in sehr weiten Grenzen regeln zu können (was für ausreichenden Umfang der Helligkeitsregelung aus visuellen Gründen notwendig ist), wobei man auch den Zustand der ständigen LED-Einschaltung

mühelos erreichen kann. Der Abgleich dieser Schaltung ist auch ohne Meßmittel problemlos möglich. Für den Taktgeber werden die angegebenen Werte eingehalten. Dieser Schaltungsteil arbeitet sofort. Bei höchster Frequenz (R1 = 0, nur R3 wirksam) gleicht man nun R2 so ab, daß die LED gerade die volle Helligkeit erreicht (beginnend von R2 = 0). Der dann für R2 gefundene Wert kann gegebenenfalls als Festwert eingesetzt werden. Man paßt also die Haltezeit des Monoflops an die höchste Taktfrequenz des Taktgebers an, die deshalb nur ungefähr zu stimmen braucht. Der Ausgang des Gatters D1.4 vermag nur eine LED (maximal 15 mA) zu schalten. Man kann ihm aber statt LED V4 weitere Gattereingänge (beispielsweise dafür vorgesehene „Helltast"-Eingänge an Dekoderschaltungen für 7-Segment-Zifferndisplay-Ansteuerungen) direkt nachsetzen. Sollen mehrere LED direkt gesteuert werden, so benutzt man einen Schalttransistor V2, der über R5 anzuschließen ist (punktiert gezeichnet; R4 und LED V4 entfallen dann). Der für V2 angegebene Typ *GC 301*

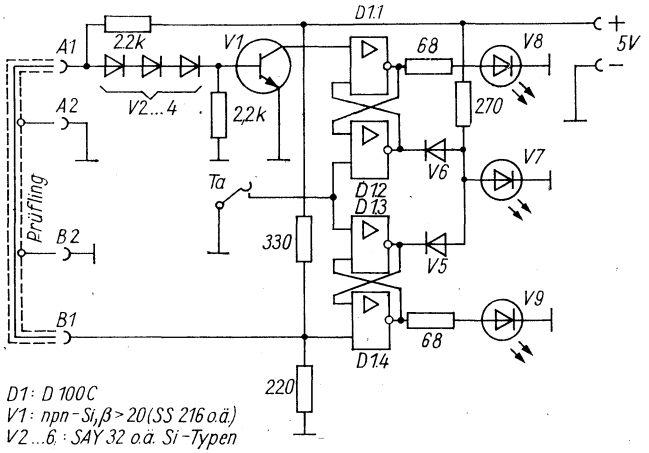


Bild 1.33 Stromlaufplan des Kabelprüfgeräts. LED V7 zeigt „Kabel in Ordnung" an, LED V8 leuchtet auf bei „Unterbrechung", LED V9 leuchtet bei Kurzschluß im Prüfling. Die Anzeige kurzzeitig auftretender Fehler bleibt gespeichert, bis Ta geschlossen wird

kann kollektorseitig den Strombedarf für etwa 3 vollständige 7-Segment-Anzeigen oder etwa 30 bis 40 LED liefern (jeweils mit eigenem Vorwiderstand).

1.6.8. Kabelprüfgerät

Ärger, den Wackelkontakte in einem Kabel (zeitweilige Unterbrechung oder zeitweiliger Schluß) verursachen können, kennt jeder Praktiker. Besonders unangenehm sind solche Schäden dann, wenn es sich um spezielle Kabel (Abschirmkabel der NF-Technik), um mehradrige Kabel und entsprechend „eng" montierte Kabelkupplungen usw. handelt und wenn der Fehler nur zeitweilig auftritt. Handelt es sich dabei um Fehler, die nur selten und kurzzeitig auftreten, so gelingt oft das Lokalisieren der Fehlerstelle mit üblichen Durchgangsprüfern nicht. Dazu läßt sich ein Kabelprüfgerät nach Bild 1.33 verwenden, das mit einem *D 100 C* einfach aufzubauen ist und die Fehleranzeige speichert, so daß selbst kürzeste „Aussetzer" erkannt werden können. Das zu prüfende Kabel ist zwischen A1, A2 und B1, B2 anzuschließen. Bei mehradrigen Kabeln sind die verdächtigen Adern einzeln nacheinander anzulegen. Geprüft wird dabei die Ader A1—B1 auf Unterbrechung und auf Schluß gegen die Ader A2—B2. Besteht Verdacht auf Unterbrechung der Ader A2—B2 (hier also z. B. der Kabelabschirmung), werden A und B beiderseitig vertauscht. Die Schaltung arbeitet mit zwei Speicher-Flip-Flops (siehe [5]), die aus D1.1, D1.2 bzw. D1.3, D1.4 bestehen, und LED-Anzeige. Nach Anschluß des Prüflings wird zunächst Starttaste Ta kurz gedrückt, wodurch D1.2 und D1.3 ausgangsseitig H-Potential annehmen. V6, V5 sperren hierbei, und LED V7 „Prüfling in Ordnung" leuchtet auf. LED V8 „Unterbrechung" und LED V9 „Kurzschluß" sind erloschen, weil die zugehörigen Gatterausgänge L-Potential haben. Am Prüflingsanschluß A1—B1 stehen bei intaktem Kabel nunmehr etwa 2,0 V, Gatter D1.4 behält somit ausgangsseitig L-Potential.
Die Spannung von 2,0 V reicht nicht aus, um die Summe der Schwellenspannungen von V2 bis V4 und die Basis-Emitter-Strecke von V1 (zusammen etwa 2,8 V) zu überwinden, V1 bleibt daher gesperrt und D1.1 ausgangsseitig ebenfalls auf L-Potential. Der Prüfling wird nun abschnittsweise bewegt, um den Fehler

herbeizuführen. Tritt hierbei Kurzschluß im Kabel auf, so sind B1, B2 verbunden, der Eingang D1.4 wird zumindest kurzzeitig auf L-Potential (Masse) gelegt, womit sein Ausgang H-Potential annimmt und LED V9 durch Aufleuchten den Kurzschluß anzeigt. Wegen der kreuzweisen Verkopplung schaltet zugleich D1.3 um, so daß der Anzeigezustand erhalten bleibt, auch wenn der Fehler sofort wieder verschwindet. Der hierbei auf L-Potential schaltende Ausgang von D1.3 löscht gleichzeitig LED V7 durch Kurzschluß über V5 (deren Flußspannung unter der der LED liegt), wobei V6 Rückwirkung auf den Ausgang des D1.2 verhindert. Falls Unterbrechung der Ader A1—B1 auftritt, bleibt das Potential am Eingang B1 mit etwa 2,0 V erhalten, dagegen wird nunmehr über den 2,2-kΩ-Widerstand und V2 bis V4 V1 angesteuert, wobei das Potential am Anschluß A1 auf etwa 3 V ansteigt. V1 öffnet, legt den Eingang von D1.1 auf L-Potential, so daß dieser Flip-Flop umschaltet (LED V8 leuchtet auf und zeigt Unterbrechung an, LED V7 verlischt). Auch in diesem Fall bleibt die Anzeige gespeichert, falls der Fehler wieder verschwindet. Mit Ta wird die Anzeige in den Ruhezustand zurückgestellt. Dieses Gerät eignet sich auch zur längerdauernden Überwachung von Leitungen, auf denen nur in größeren Abständen zeitweilige Störungen auftreten, die sonst schwer zu erfassen sind. Bei mehradrigen Leitungen (z. B. zweiadrig abgeschirmte NF-Leitungen, auch festverlegte Kabel) kann man je eine Ader zur Hin- und Rückleitung benutzen (A1, B1) und am anderen Kabelende diese Adern miteinander verbinden, so daß nicht unbedingt beide Kabelenden am Prüfgerät angelegt sein müssen.

2. Flüssigkristallanzeigen (LCD)

Flüssigkristalle sind bereits seit dem Jahr 1888 bekannt, haben aber erst im letzten Jahrzehnt praktische Bedeutung im Rahmen elektronischer Anzeigevorrichtungen erlangt, und zwar als Ziffern- und Symbolanzeigen für Uhren (insbesondere Armbanduhren), Taschenrechner und in neuerer Zeit für Meßgeräte und Anzeigetableaus, bei denen Ziffern, Buchstaben, Symboldarstellungen gefordert werden. Nur am Rande erwähnt sei, daß inzwischen auch erste Funktionsmuster für die Wiedergabe von Fernsehbildern (flacher Bildschirm für Kleinstwiedergabegeräte) existieren, bis zu deren Einsatzreife jedoch noch eine Zeit vergehen wird. In jedem Fall handelt es sich bei den eingesetzten Flüssigkristallanzeigen um flächige Bauelemente zum Darstellen von (fast immer) mehreren Ziffern- oder Zeichenstellen. Für derartige Bauelemente hat sich der englische Ausdruck *Display* international eingebürgert (deshalb werden mehrstellige LED-Ziffernanzeigebauelemente oftmals auch als *LED-Displays* bezeichnet). Für entsprechende Flüssigkristallanzeigen ist demzufolge die Abkürzung LCD (von engl. liquid crystal display, Flüssigkristalldisplay) international üblich. Im folgenden wird deshalb nur noch kurz von LCD-Bauelementen gesprochen.

LCD benötigen ganz allgemein für ihren Betrieb eine extrem geringe Leistung (Größenordnung einige Mikrowatt je Quadratzentimeter). Sie sind deshalb vorzüglich geeignet für den Einsatz in solchen Geräten, bei denen es in erster Linie auf Betriebsstromersparnis ankommt (bekanntestes Beispiel: Armbanduhr mit ihrer begrenzten Batteriekapazität). Bei solchen Anwendungen wird — insbesondere wenn die Gerätekonstruktionen insgesamt extrem stromsparend ausgelegt sind, wozu sich nach heutigem Stand insbesondere die MOS-Technologie, CMOS-IS usw. anbieten — der Hauptnachteil der inzwischen „klassischen" LED-Anzeigen, ihr hoher Stromverbrauch, vermieden. Der bemerkenswert niedrige Leistungsbedarf von LCD-Bauelementen erklärt sich aus der Tatsache, daß die darzustellenden Symbole nicht selbstleuchtend sind, d. h., in ihnen wird keine Energie in Licht umgesetzt und abgestrahlt, sondern nur eine (scheinbare) Verfärbung

der Symbole bewirkt. LCD-Anzeigen lassen sich deshalb nur ablesen, wenn sie durch Fremdlicht (künstliche oder natürliche Lichtquellen) beleuchtet werden. Gegenüber selbstleuchtenden Anzeigen (LED) haben sie den Vorzug, bei zunehmender Umgebungshelligkeit besser ablesbar zu sein, da mit ansteigender Beleuchtungsstärke auch der Kontrast der Anzeige zunimmt, was optisch bedingt ist und daher keiner zusätzlichen elektrischen Steuerung bedarf.

Nachdem LCD-Anzeigen ab etwa Beginn der 70er Jahre zum Einsatz kamen, stellten sich zunächst unerwartete Mängel und nicht vorhersehbare Fertigungsprobleme heraus, die sich in anfangs mangelhafter Zuverlässigkeit und geringer Lebensdauer zeigten. Deshalb verlief die Einführung der LCD-Bauelemente zunächst allgemein langsamer als erwartet (noch 1976 betrug das Verhältnis von LED- zu LCD-Anzeigen in Armbanduhren etwa 70:30, seit Ende der 70er Jahre sind LCD-Anzeigen auf diesem Sektor dominierend, [11]). Inzwischen hat die Fertigungstechnologie und Lebensdauererwartung für LCD-Bauelemente ein hohes Niveau erreicht. Für hochwertige LCD-Anzeigen werden gegenwärtig Nutzungsfristen um 50000 h angegeben. Seit 1981 werden LCD-Anzeigen für Uhren- und Rechner-Anwendungen auch in der DDR hergestellt [12].

2.1. Physikalische Grundlagen der Flüssigkristalle

Flüssige Kristalle sind bestimmte organische Verbindungen, die die optischen Eigenschaften von Festkörpern und den Aggregatzustand von Flüssigkeiten haben. Es handelt sich also um eine kristalline Flüssigkeit (mit der inneren Struktur eines Kristalls), während eine nichtkristalline Flüssigkeit dagegen ungeordnet ist. Die kristalline Struktur ist für die optischen (anisotropen, d. h. die Lichtpolarisation richtungsabhängig beeinflussenden) Eigenschaften verantwortlich, während reine Flüssigkeiten isotrop sind. Diese Eigenschaften sind auf eine stabförmige, langgestreckte Molekülstruktur zurückzuführen, die bei Flüssigkristallen eine bestimmte regelmäßige Ordnung einnimmt. Flüssigkristalle gehen bei Erwärmung allmählich aus einem festen Zustand (der je nach Material bei $-15 \ldots -5$°C endet) über einen Zwischenzustand (Mesophase, dieser Bereich ist für LCD-Bauelemente von Inter-

esse) in eine reine Flüssigkeit über (dieser Zustand wird je nach Material bei +65 ... +80 °C erreicht). In diesem Übergangsbereich (gleichzeitig Temperatureinsatzbereich von LCD-Bauelementen) zwischen etwa −5 °C bis etwa +65 °C kann der Flüssigkristall daher als ein Zwischenzustand (Kristallschmelze) zwischen festem und flüssigem Zustand aufgefaßt werden. In diesem Zustand haben die für LCD-Bauelemente geeigneten Flüssigkristalle einige Eigenschaften, die bei normalen Flüssigkeiten nicht vorkommen. Die Moleküle zeigen in einem elektrischen Feld einen Dipolcharakter, wobei sich die Dipole (Moleküle) in Abhängigkeit vom elektrischen Feld ausrichten. Diese Ausrichtung der Dipole beeinflußt das optische Verhalten der Flüssigkristalle und bildet damit die Grundlage der Anwendung in LCD-Bauelementen. Je nachdem, welche Art räumlicher Ordnung zwischen den Molekülen herrscht, werden die Flüssigkristalle in 3 Gruppen unterteilt: nematische (fadenförmige), smektische (schichtartige) und cholesterinische (spiralförmige) Flüssigkristallsubstanzen. In der LCD-Technik haben bisher nur die nematischen Flüssigkristalle Bedeutung erlangt. Die näheren physikalischen und chemischen Einzelheiten sind für den LCD-Anwender ohne Bedeutung ([11] geht darauf näher ein). Bild 2.1 zeigt den grundsätzlichen Aufbau einer LCD-Zelle. 2 Glasplatten sind mit durchsichtigen elektrisch leitenden Elektroden überzogen, zwischen denen sich die — nur etwa 10 μm dünne — Flüssigkristallschicht befindet. Wird an die Elektroden eine Spannung angelegt, so nehmen die Flüssigkristallmoleküle eine exakt ausgerichtete Ordnung an, was auf einen hindurchtretenden Lichtstrahl bestimmte Wirkungen ausübt (Drehung der Polarisationsfilter). Dieser Effekt kann sichtbar gemacht werden, wie nachfolgend näher erläutert wird. Eine Verfärbung des Flüssigkristalls erfolgt nicht!

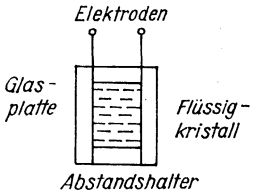


Bild 2.1
Prinzip einer Flüssigkristallanzeige

2.2. Aufbau und Funktion von LCD-Anzeigen

Wie erwähnt, wird für LCD-Anzeigen von nematischen (fadenförmigen) Flüssigkristallen ausgegangen. Die Elektroden auf den Innenseiten der planen Glasplatten (Bild 2.1) sind mit einem SiO_2-Überzug versehen, der verhindert, daß die Flüssigkeit unmittelbar mit den Elektroden in Berührung kommt. Dadurch werden — obwohl die verwendeten Flüssigkristallsubstanzen elektrisch fast nichtleitend sind — elektrolytische Prozesse vermieden, die die Flüssigkeit allmählich zersetzen und verunreinigen könnten. Bereits hier sei erwähnt, daß die anzulegende Spannung stets eine *Wechsel*spannung sein muß, um Zersetzung der Flüssigkeit (auch durch Isolationsfehlströme) zu verhindern. Eine angelegte Gleichspannung ergibt zwar anfangs ebenfalls den erwünschten optischen Effekt, durch innere Ionisationsvorgänge und elektrische Polarisationserscheinungen verblaßt die Anzeige dann jedoch sehr schnell trotz anliegender Spannung wieder, so daß kein brauchbarer Betrieb möglich ist. Durch diese bei Gleichspannung auftretenden Effekte wird außerdem die Nutzungsdauer der LCD-Zelle extrem stark herabgesetzt. Dieser auch für den Amateur sehr wesentliche Sachverhalt kompliziert leider die Ansteuerung von LCD-Bauelementen.

Die SiO_2-Schutzschichten, die die Elektrodenoberflächen gegen die Flüssigkeit abdecken, erhalten bei der Herstellung durch besondere Technologien eine mikrofeine Längsrillenstruktur, die für die Funktion entscheidend ist. Bild 2.2 erläutert das näher. Mit dem angelegten elektrischen Feld werden die Moleküle aus einer definierten Ruhelage in eine bestimmte Richtung gedreht. Um zunächst — bei spannungsloser Zelle — eine definierte Ruhelage zu erreichen, werden die beiden Elektrodenflächen so angeordnet, daß ihre Mikrorillenstrukturen senkrecht zueinander stehen. Diese

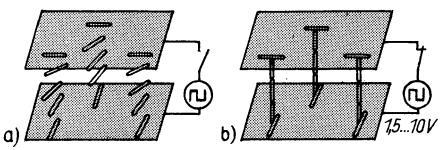


Bild 2.2 Anordnung der Moleküle im Flüssigkristall bei nichtangesteuerter und angesteuerter Flüssigkristallzelle

Längsstrukturen bewirken, daß sich die nahe den Flüssigkeitsoberflächen befindlichen Moleküle, die man sich stäbchenförmig vorstellen kann, diesen Rillenstrukturen anlagern und ihre Richtung annehmen. Da die Strukturen beider Elektrodenplatten zueinander senkrecht stehen, kommt es in der Flüssigkeit zwischen den Molekülketten zu einer spiralförmigen 90-Grad-Drehung (Bild 2.2a, dort für 3 einzelne Molekülketten dargestellt). Diese spiralförmige Molekülkettenstruktur ist der Ruhezustand der nicht angesteuerten Zelle. Beim Anlegen einer elektrischen Spannung (Bild 2.2b) richten sich die Moleküle jedoch (abgesehen von den direkt an den Elektrodenflächen anliegenden, die durch deren Mikrorillenstruktur fixiert werden) infolge der genannten elektrischen Dipolwirkung senkrecht aus, so daß dann eine einheitliche Ordnung ohne Verdrillung der Molekülketten vorliegt. Wie dieser Effekt optisch erkennbar gemacht wird, ist weiter unten erläutert.

Zunächst läßt Bild 2.2 erkennen, daß eine solche LCD-Zelle elektrisch gesehen infolge der nichtleitenden Elektrodenbeschichtung und der ebenfalls (fast) nichtleitenden Flüssigkeit einen kleinen Kondensator darstellt. Da die LCD-Zelle aus den bereits genannten Gründen mit Wechselspannung angesteuert werden muß, fließt ein — wenn auch sehr geringer, selbst bei größeren LCD-Anzeigen im unteren μA-Bereich liegender — Wechselstrom als Blindstrom durch das LCD-Bauelement, dessen Ansteuerung aus diesem Grund nicht völlig leistungslos ist. Die für den optischen Effekt maßgebende Drehung der Molekülketten nach Bild 2.2 ist letztlich ein „mechanischer" Vorgang und kann daher nicht trägheitslos ablaufen. Die heute üblichen LCD-Bauelemente benötigen nach Anlegen der Spannung (und in gewissen Grenzen von deren Betrag abhängig) eine Zeit von etwa 0,1 s bis zur völligen Ausrichtung der Moleküle (voller Anzeigekontrast in der Moleküllage nach Bild 2.2b). Die Abklingträgheit nach Abschalten der Spannung (Wiederherstellen der Ruheordnung in Spiralform nach Bild 2.2a) liegt bei etwa 0,2 s. Flüssigkristallanzeigen haben daher eine beachtliche Trägheit, die bei normalen Anzeigen (Rechner, Uhren) wenig stört, bei anderen Anwendungsfällen (Wiedergabe von Fernsehbildern u. ä.) jedoch den Einsatz zur Zeit noch weitgehend einschränkt. Weiter ist bereits aus Bild 2.2 abzuleiten, daß die angelegte Spannung einen bestimmten Mindestwert erreichen muß, um die für maximalen Anzeigekontrast

notwendige vollständige Ausrichtung der Moleküle zu erreichen. Diese (material- und konstruktionsabhängige) Schwellenspannung muß über diesem Wert liegen und bewegt sich zwischen 1,6 ... 15 V. Die obere Spannungsgrenze ist im wesentlichen durch die Isolationsfestigkeit der Zelle gegeben. Da die Flüssigkristallschichtstärke nur etwa 10 ... 12 μm beträgt, besteht also bei überhöhten Spannungen durchaus die Gefahr der Überlastung mit Spannungsdurchschlag und — infolge lokaler Zersetzung des Flüssigkristalls und Schädigung der Elektrodenstruktur — Zerstörung des LCD-Bauelements. Der Amateur ist daher gut beraten, beim Umgang mit LCD-Anzeigen ähnliche Vorsichtsmaßnahmen anzuwenden, wie sie etwa beim Umgang mit MOS-Halbleitern üblich sind.

Bevor auf die optische Sichtbarmachung des Effekts eingegangen wird, sei der grundsätzliche Aufbau einer 7-Segment-Ziffernanzeige als LCD-Zelle betrachtet (Bild 2.3). Auf der in Blickrichtung vorn angebrachten Deckglasscheibe werden innen Elektroden in der bekannten 7-Segment-Ziffern-Konfiguration (Segmentelektroden) aufgebracht und einzeln mit am Rand der Platte herausgeführten Kontaktstellen verbunden. Diese Randkontakte kontaktiert man später mechanisch, wozu Klemmkontaktfedern oder spezielle Plast- oder Gummileitstücke (Konnektoren) benutzt werden (Einzelheiten zur Kontaktierung zeigt [12]). Diese aufgedampften Randkontakte sind *nicht* lötbar

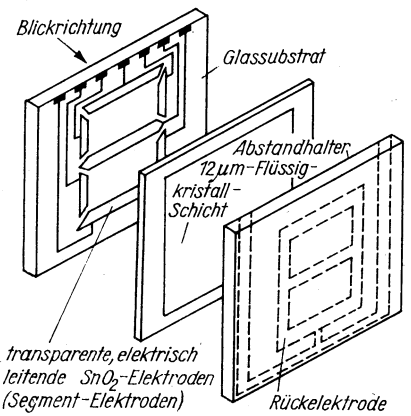


Bild 2.3
Elektrodenanordnung und Prinzipaufbau einer LCD-7-Segment-Anzeigezelle

und mechanisch sehr leicht zu beschädigen! Über sie kann jedes Einzelsegment des Ziffernsymbols (Bild 2.3) einzeln angesteuert werden. Es folgt ein rahmenförmiger Abstandhalter, in dem sich später die Flüssigkristallsubstanz befindet. Auf der rückwärtigen Deckplatte steht allen Segmentelektroden eine gemeinsame Gegenelektrode (Rückelektrode) — gleichfalls lichtdurchlässig — gegenüber, die ebenfalls über einen Randkontakt anzuschließen ist. Dieser Grundaufbau gilt für LCD-Einzelziffernanzeigen. Vielstellige Anzeigen mit Multiplexbetrieb erfordern andere kompliziertere Elektrodenstrukturen und Verbindungen, die in [12] dargestellt sind; das Prinzip ist das gleiche.

Die nach Bild 2.3 aufgebaute LCD-Zelle wäre praktisch noch nicht nutzbar, weil die Lageänderung der Moleküle im Ansteuerungsfall nicht mit bloßem Auge erkennbar ist. Man arbeitet deshalb mit polarisiertem Licht. Bild 2.4 zeigt das Prinzip. Unpolarisiertes Licht schwingt in allen räumlichen Ebenen unregelmäßig verteilt, im normalen Licht kommen also alle Schwingungsebenen gleichzeitig vor (Bild 2.4a). Mit speziellen optischen Filterfolien ist es möglich, Licht nur einer Schwingungsebene auszufiltern, das durch ein solches Polarisationsfilter tretende Licht ist dann in nur einer Schwingungsebene polarisiert (Bild 2.4b). Bei LCD-Anzeigen werden diese Filter als dünne Folien direkt auf die Oberflächen der Deckglasplatten aufgebracht. Es entsteht dann eine Kombination, wie sie Bild 2.5 — dort zur Verdeutlichung mit getrennt dargestellten Polarisationsfiltern — zeigt. Bei direkter Durchsicht erscheinen Polarisationsfilter ebenso wie Deckglasplatten und Flüssigkristallsubstanz farblos-klar. In Bild 2.5 ist zur Verdeutlichung ein vereinfachter Aufbau dargestellt, bei dem die LCD-Anzeige von hinten mit einer Lichtquelle durchstrahlt

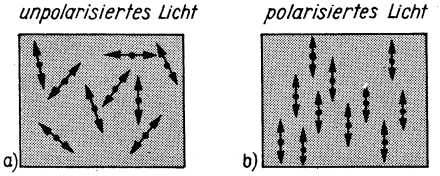


Bild 2.4 Schwingungsrichtungen bei unpolarisiertem (a) und polarisiertem (b) Licht

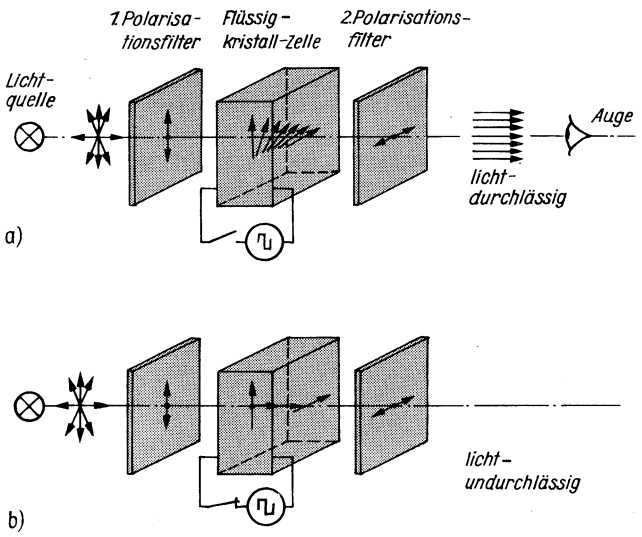


Bild 2.5 Zur Funktionsweise der LCD-Anzeigezelle; a — Zelle nicht angesteuert (lichtdurchlässig), b — Zelle angesteuert (undurchlässig)

wird. Für Sonderzwecke sind auch solche LCD-Anzeigen (mit rückwärtiger Lichtquelle beleuchtbar, [11], [12]) im Gebrauch. Entscheidend ist, daß — wie Bild 2.5 zeigt — 2 Polarisationsfilter mit zueinander gekreuzten Polarisationsebenen vorhanden sind. Ohne die LCD-Zelle könnte in dieser Anordnung kein Licht durchfallen, da jeweils ein Filter das Licht in der Schwingungsebene sperrt, für die das andere Filter durchlässig ist. Die zwischen den Filtern vorhandene LCD-Zelle bewirkt jedoch im Ruhestand (nicht angesteuert) für das durchfallende Licht eine Drehung der Polarisationsebene um 90°, entsprechend ihrer spiraligen Molekülkettenlage (Bild 2.5a, vgl. mit Bild 2.2a). Das von der Lichtquelle kommende und vom 1. Filter polarisierte Licht kann nach dieser optischen Drehung seiner Polarisationsebene auch das 2. Filter passieren, die Anordnung erscheint daher hell lichtdurchlässig. Anders, wenn Spannung an die LCD-Zelle gelegt wird (Bild 2.3b, vgl. mit Bild 2.2b). Die jetzt zustande kommende

Molekülketten-Ausrichtung bewirkt keine Drehung der Polarisationsebene mehr. Das vom 1. Filter durch die Zelle fallende, nach Bild 2.5b senkrecht polarisierte Licht trifft nun mit senkrechter Polarisation auf das 2. Filter, das waagerecht polarisiert ist und demzufolge das auftreffende senkrecht polarisierte Licht sperrt. Die Anordnung ermöglicht also keinen Lichtdurchtritt mehr — die Zelle erscheint dunkel. Wie aus Bild 2.3 hervorgeht, tritt dieser Abdunkelungseffekt nur dort auf, wo angesteuerte Elektrodenflächen vorhanden sind. Damit wird die gewünschte Ziffernkonfiguration sichtbar.

Während die in Bild 2.5 gezeigte Anordnung nach dem Durchlichtprinzip arbeitet, sind alle üblichen in Uhren, Rechnern usw. verwendeten Anzeigen nach dem Reflektionsprinzip aufgebaut. Es arbeitet ebenfalls entsprechend Bild 2.5, lediglich ist jetzt an Stelle der dort angegebenen Lichtquelle eine reflektierende Folie (meist metallbeschichtetes Papier) angeordnet. Metallische Reflektoren werden deshalb benutzt, weil diese Reflektoren keine zusätzliche Änderung oder Streuung der Lichtpolarisation bewirken dürfen. Bei der reflektierenden LCD-Anzeige ist somit links im Bild ein Reflektor vorhanden, das Licht trifft aus Richtung des Betrachters auf und durchläuft die gesamte Anordnung zweimal, was am Funktionsprinzip nichts ändert. Bild 2.6 zeigt den voll-

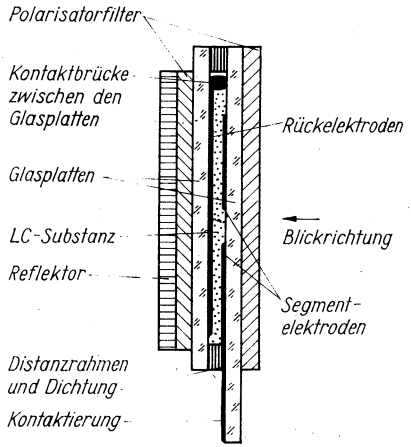


Bild 2.6
Aufbau einer LCD-Anzeigezelle nach dem Reflexionsprinzip. Dieser Aufbau liegt bei den für Armbanduhren und Taschenrechnern verwendeten LCD-Typen vor

ständigen Aufbau einer solchen Reflektor-LCD-Anzeige, wie sie in den bekannten Uhren und Rechnern verwendet wird.
Erwähnt sei, daß außer der beschriebenen Variante, bei der die angesteuerten Symbole (Segmente) dunkel auf hellem Hintergrund erscheinen, auch die umgekehrte Wirkungsweise möglich ist (und bei Durchlichtzellen nach Bild 2.5 gelegentlich auch angewendet wird). Man kann die Polarisationsfilter so anordnen, daß ihre Polarisationsebenen nicht senkrecht zueinander, sondern parallel stehen. Wie sich aus der Beschreibung zu Bild 2.5 ergibt, wird dann der Lichtdurchgang bei nicht angesteuerter Zelle gesperrt und bei angesteuerter Zelle freigegeben. Damit erscheint die Zelle im Ruhestand dunkel und angesteuerte Symbole werden hell durchscheinend auf dunklem Grund sichtbar. In der Praxis haben diese Ausführungen weniger Bedeutung.
Aus Bild 2.3 läßt sich bereits erkennen, daß normalerweise je Ziffernsymbol eine große Anzahl von Anschlüssen (z. B. 7 Segmentleitungen, dazu 1 Anschluß für Rückelektrode und ggf. ein weiterer für Dezimalpunktdarstellung) herausgeführt werden müssen. Bei mehrstelligen Ziffernanzeigen würde das eine untragbar große Anzahl von Anschlüssen ergeben. Deshalb steuert man solche Anzeigen — dazu zählen u. a. fast alle für Uhren und Rechner handelsüblichen Typen — im Multiplexbetrieb an, wobei die Elektroden im Inneren des LCD-Bauelements gruppenweise verbunden werden. Ähnliches ist von LED-Ziffernanzeigen her auch dem Amateur bereits bekannt [1], [2]. Leider ist ein Multiplexbetrieb bei LCD-Anzeigen erheblich komplizierter als bei LED- oder Digitron-(Fluoreszenzröhren-)Anzeigen (dazu [2]). Einzelne Ziffern eines solchen für Multiplexbetrieb vorgesehenen LCD-Displays können deshalb nicht mit üblichen Verfahren gleichzeitig mit unterschiedlichen Symbolen angesteuert werden, was die Verwendbarkeit solcher Uhren- oder Rechner-LCD-Anzeigen für den Amateur leider sehr erschwert. Da konventionell aufgebaute Multiplexansteuerungen für den Amateur nicht mit vertretbarem Aufwand zu realisieren sind, wird auf eingehendere Beschreibung verzichtet. [12] zeigt Einzelheiten der Segmentkonfiguration und inneren Schaltung dieser für Multiplexbetrieb bestimmten Anzeigen. Der Multiplexbetrieb von LCD wird durch nachstehend beschriebene Umstände zusätzlich kompliziert.
Die Schwellwerteigenschaften der Kontrastkennlinie eines LCD-Bauelements lassen einen Multiplexbetrieb nach bekannten Ver-

fahren deshalb nicht zu, weil der Kontrast nicht (wie bei LED u. a.) durch kurzzeitige Übersteuerung verstärkt werden kann. Weiterhin ist der Schwellwert temperaturabhängig und nicht eindeutig einem Spannungswert zugeordnet. Dem bei Multiplexbetrieb möglichen Tastverhältnis sind dadurch enge Grenzen gesetzt. Derzeit üblich sind Tastverhältnisse von nur 1:3, maximal 1:4; für Tastverhältnisse bis 1:7 existieren nur erste Versuchsmuster. Daraus ergibt sich — im Zusammenhang mit der Ansteuerung durch Wechselspannungsimpulse —, daß ein getrenntes Ansteuern jeder Anzeigestelle (wie von LED-Anzeigen her bekannt) schon bei einfachen 6- bis 8stelligen Rechner- und Uhrenanzeigen nicht mehr möglich ist. Man arbeitet deshalb mit in Stufen ($^1/_2$ oder $^1/_3$ der Betriebsspannung) gestaffelten Ansteuerimpulsen beider Polarität (Impulsdiagramme und weitere Einzelheiten findet der Leser [11], [12]). Die Erzeugung der notwendigen komplizierten Ansteuerimpulsfolgen erfordert einen so hohen Aufwand, daß die Ansteuerelektroniken stets mit in die entsprechenden (meist Uhren- oder Rechner-)Schaltkreise integriert sind, die für den Betrieb mit (meist typengebunden speziell dazu hergestellten) LCD-Displays verwendet werden. Für den Amateur bedeutet das leider in der Regel, daß er eine für Multiplexbetrieb vorgesehene LCD-Anzeige nur zusammen mit dem Schaltkreis, zu dem sie gehört, in der damit vorgegebenen Originalanwendung einsetzen kann. Spezielle Multiplexansteuerschaltkreise für LCD mit universeller Verwendbarkeit sind international nicht üblich, dagegen existieren auf dem Weltmarkt bereits eine größere Anzahl von LCD-Einzelziffernanzeigen unterschiedlicher Größe (teilweise auch 2- bis 4stellig, jedoch mit einzeln herausgeführten und daher ohne Multiplexverfahren parallel ansteuerbaren Segmentanschlüssen für alle Ziffern). Voraussichtlich werden zu einem späteren Zeitpunkt solche Einzelziffernanzeigen und parallel ansteuerbare Displays auch dem DDR-Amateur verfügbar werden. Auf die Ansteuerung solcher Anzeigen (ohne Multiplexbetrieb) geht der nächste Abschnitt ein. LCD-Anzeigen können heute bereits in sehr unterschiedlichen Größen hergestellt werden. International bekannt sind derzeit Einzelziffernanzeigen mit Ziffernhöhen von 7 cm und mehr sowie vielstellige Displays mit mehreren Symbolzeilen für die Darstellung umfangreicherer Meßergebnisse, von alphanumerischen Zeichen, Texten und bildhaften Darstellungen. Dabei wird häufig

statt mit der herkömmlichen 7-Segment-Konfiguration mit punktrasterförmiger Symboldarstellung (Punktmatrix mit z. B. 7×5 Bildpunkten je Anzeigestelle und bis zu 36 Anzeigestellen in 3 Schriftzeilen; Gesamtgröße der Sichtfläche solcher LCD-Anzeigen etwa 8 cm $\times$ 15 cm) gearbeitet. Auch für Armbanduhren sind bereits 3zeilige LCD-Anzeigen (für aktuelle Zeitanzeige, Datum oder Stoppuhr u. a. Hilfsanzeigen sowie Sonderzeilen für Betriebszustandsanzeigen) in großer Anzahl im Einsatz. International geht der Trend u. a. im Hinblick auf Anwendung in Datensichtgeräten usw. zu großformatigen Anzeigen mit hohem Informationsgehalt.

2.3. Ansteuerung von LCD-Anzeigen

Wie bereits begründet, müssen LCD-Anzeigen stets mit Wechselspannung angesteuert werden, um kurzfristige Zerstörung durch Elektrolysevorgänge zu vermeiden. Bei Gleichspannung tritt außerdem eine Ionenverschiebung in der Flüssigkristallschicht auf, die das elektrische Feld abbaut und die Anzeige damit trotz anliegender Spannung sehr schnell wieder verblassen läßt. Beim Abschalten ergibt sich aus den erwähnten Ionenverschiebungsvorgängen außerdem eine sehr große Abklingträgheit der Anzeige. Aus diesen Gründen muß auch der Amateur die Gleichspannungsansteuerung unbedingt vermeiden.
Das LCD-Display wird üblicherweise nach der sogenannten Phasensprungmethode angesteuert. Dieses bei Parallelansteuerung auch vom Amateur relativ leicht realisierbare Verfahren soll beschrieben werden. Bild 2.7 zeigt zunächst das Impulsdiagramm für diese Ansteuerung. Benötigt wird ein ständiges Taktsignal, das im Frequenzbereich 20 Hz ... 1 kHz liegen kann und relativ unkritisch ist (niedrige Frequenzen haben den Vorteil geringeren Blindstromverbrauchs durch die LCD-Zelle). Man steuert gleichzeitig (ständig) die gemeinsame Rückelektrode sowie die Segmentelektrode an. Dafür wird eine Rechteckschwingung mit der Amplitude der vorhandenen Speisespannung benutzt. Diese Rechteckspannung wird als Rückelektrodenspannung U_R an die Rückelektrode und entweder gleichphasig oder (nach Phasendrehung) gegenphasig an alle anzusteuernden Segmentelektroden gelegt (U_S entsprechend Bild 2.7). Sind U_R und U_S zueinander

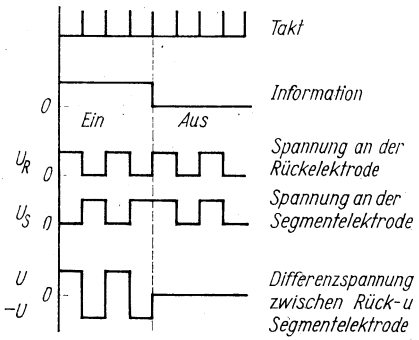
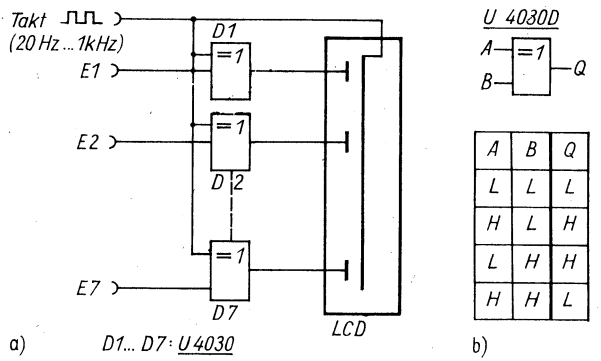


Bild 2.7
Impulsdiagramm für die Parallelansteuerung von LCD

gegenphasig, wie es Bild 2.7 darstellt, dann tritt die Differenz beider an den Elektroden der LCD-Zelle mit der doppelten Betriebsspannung auf, wie das unterste Impulsdiagramm in Bild 2.7 zeigt. Neben der erforderlichen Wechselspannungsansteuerung wird damit außerdem eine Verdopplung der Betriebsspannung für die LCD-Zelle erzielt. Das ist der Grund, weshalb LCD-Zellen bereits in Geräten mit Batteriespannungen um nur 1,2 V (Beispiel: Armbanduhren) funktionsfähig sind, obwohl ihre Ansprechschwellenspannung bei 1 V oder höher liegt. Im genannten Fall



A	B	Q
L	L	L
H	L	H
L	H	H
H	H	L

Bild 2.8 a — Grundsätzliche Schaltung der Parallelansteuerung für LCD, b — Funktionstabelle für die als LCD-Treiber verwendeten Exclusiv-OR-Gatter des *U 4030 D*

steht der LCD-Zelle damit bereits eine Ansteueramplitude von etwa 2,4 zur Verfügung. Darüber hinaus muß die Verdopplung der Ansteuerspannung beachtet werden, wenn eine LCD-Anzeige beispielsweise von CMOS-Schaltkreisen angesteuert wird. In diesem Fall sollte die CMOS-Betriebsspannung 7,5 V nicht übersteigen, um einen LCD-Steuerspannungswert von 15 V (meist dem Grenzwert des LCD-Bauelements) nicht zu überschreiten.
Werden Rückelektrodenspannung U_R und Segmentsteuerspannung U_S gleichphasig an die LCD-Zelle gelegt, was sehr einfach durch Umpolen (Phasenumkehr) von U_S geschehen kann, dann ist die Differenz zwischen den Zellenelektroden O, und das Segment wird nicht angesteuert. Das Ansteuern einzelner Segmente läuft daher auf eine Änderung der Phasenlage von U_S (Bild 2.7) für die gewünschten Segmente (bei ständig vorhandenen Spannungen U_R und U_S und ständigem Takt) hinaus. Bild 2.8 zeigt eine schaltungstechnische Realisierung dafür. Wegen des sehr geringen Strombedarfs der LCD-Zelle (wenige Mikroampere) bietet sich der Einsatz von CMOS-Schaltkreisen an. Die ansteuernden Segmenttreibergatter D1 bis D7 (ggf. mit D8 für Dezimalpunkt zu ergänzen) sind Exclusiv-OR-Gatter [5]. Zum besseren Verständnis ist die Logiktabelle eines solchen Gatters — von dem der DDR-Schaltkreis *U 4030* 4 Gatter enthält — in Bild 2.8b mit angegeben. Der Takt liegt mit einer der Betriebsspannung entsprechenden Amplitude ständig an der Rückelektrode sowie an den ersten Eingängen aller Gatter, er ist in dem LCD-bestückten Gerät entweder schon vorhanden und läßt sich an geeigneter Stelle abgreifen (Uhren, Zählfrequenzmesser u. ä.) oder kann mit sehr einfachen Schaltungen [5] leicht erzeugt werden. Entsprechend Bild 2.8 tritt die Ausgangsspannung an jedem Gatter dann gleichphasig mit der Eingangsspannung auf, wenn der zugehörige zweite Gattereingang E auf L-Pegel liegt. Erhält ein E-Eingang H-Pegel, so erscheint — wie die Logiktabelle erkennen läßt — das Taktsignal am Gatterausgang invertiert und tritt damit gegenphasig zu dem an der LCD-Rückelektrode liegenden Takt auf — das am Gatterausgang liegende Segment wird angesteuert. Die gezeigte und in dieser Form vom Amateur leicht realisierbare Ansteuerschaltung ist bei hochintegrierten, für LCD-Ansteuerung ausgelegten Schaltkreisen, u. a. bei fast allen Uhrenschaltkreisen, bereits mit in diesen enthalten. Der Amateur kann die Schaltung nach Bild 2.8 nötigenfalls auch in TTL-Technik

(allerdings weniger elegant, weil der CMOS-Typ *U 4030* in der TTL-Reihe kein direktes Äquivalent hat) realisieren; dafür gibt [5] die erforderlichen Hinweise. International sind für dieses Ansteuerverfahren auch spezielle Dekoderspeicherschaltkreise (z. B. *HEF 4543*, enthält BCD-zu-7-Segment-Dekoder mit sperrbarem Zwischenspeicher und ausgangsseitigen Treiberstufen nach Bild 2.8a) im Angebot.

Abschließend wird noch ein der gegenwärtig für den Amateur im Schaltkreisangebot gegebenen Materiallage angemessenes Schaltbeispiel gezeigt. Für selbstgebaute Meßgeräte (Zählfrequenzmesser, [5]) oder Digitaluhren dominiert beim Amateur derzeit noch die TTL-Technik. Damit aufgebaute Zählstufen enden gewöhnlich auf dem herkömmlich für LED-Anzeigen benutzten Dekoderschaltkreis *D 146* bzw. *D 147* [5]. Seine Segmentausgänge schalten, wie für LED-Einzelziffernanzeigen erforderlich, das aktivierte Segment an Masse, das Segment a ... g erhält also L-Pegel. Bei der Schaltung nach Bild 2.8a wird jedoch das anzusteuernde Segment mit H-Pegel am Eingang E aktiviert. Die umgekehrte Zuordnung läßt sich ohne nennenswerten Aufwand einfach dadurch erreichen, daß das gemeinsame Rückelektroden-

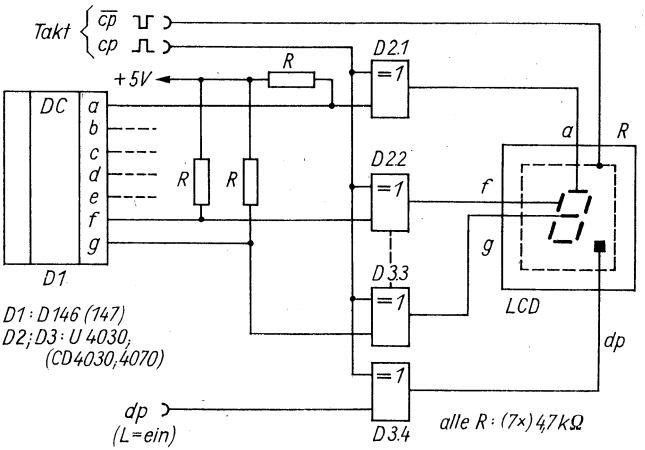
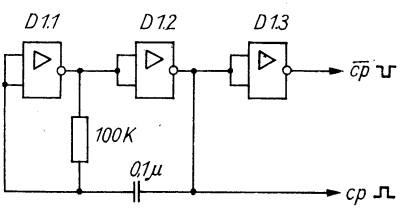


Bild 2.9 Schaltung zum Ansteuern einer LCD-Ziffernanzeige mit TTL-Dekoderschaltkreis *D 146* oder *D 147*

signal U_R der LCD invertiert wird. Das geht auch aus der Logiktabelle Bild 2.8b hervor. Bild 2.9 zeigt die Schaltung einer LCD-Ansteuerung für eine Ziffernstelle mit dem Dekoderschaltkreis *D 146* oder *D 147* und nachgesetzten LCD-Treibern, für die sich vorteilhaft der CMOS-Typ *U 4030* (Äquivalente: *CD 4030*, *CD 4070* u. ä.) eignet. Er wird aus der TTL-Speisespannung mitversorgt ebenso wie der Taktgeber, so daß sich die LCD-Anzeige effektiv mit etwa 10 V ansteuern läßt. Das Taktsignal cp sowie das dazu negierte Signal $\overline{cp}$ können entweder an geeigneter Stelle aus dem vorhandenen Gerät (bei Uhren, Zählern usw., [5], zum Beispiel als 100-Hz-Frequenz aus dem Normalfrequenzteiler, aber auch Ableitung einer 50-Hz- oder 100-Hz-Rechteckspannung aus dem Netzteil ist möglich) entnommen werden — dann ist zu beachten, daß die Amplituden von cp und $\overline{cp}$ der Betriebsspannung (5 V) entsprechen und insbesondere einander gleich sein müssen —, oder man verwendet einen einfachen Taktgeber. Bild 2.10 zeigt dafür die einfachste — gleichfalls vorteilhaft mit CMOS, ebenso nach [5] auch in TTL realisierbare — Lösung.

An diesen Taktgeber werden direkt die entsprechenden Taktanschlüsse der Schaltung nach Bild 2.9 angelegt, und er ist auch für die Schaltung entsprechend Bild 2.8 geeignet. Seine Taktfrequenz ist unkritisch und liegt mit den Werten nach Bild 2.10 bei etwa 100 Hz. Beim Zusammenschalten mit dem Dekoder *D 146*/*D 147* (D1 entsprechend Bild 2.9) muß man beachten, daß seine Segmentausgänge a ... g offene Kollektorausgänge sind [5]. Um für den nachfolgenden Gattereingang definierte Pegelverhältnisse im H-Zustand zu erreichen (offene Gattereingänge bei CMOS-IS nicht zulässig) sind bei Verwendung des *U 4030* für D2 und D3 die eingezeichneten Kollektorwiderstände *R* erforderlich,



D1.1...1.3: U 4001, U 4011 o.ä.
$f_{cp} \approx$ 100 Hz

Bild 2.10
Schaltung eines LCD-Ansteuer-Taktgebers. Geeignet für die Schaltungen nach Bild 2.8 und Bild 2.9

die aus Gründen der Speisestromersparnis — wenn es die Exemplardaten des verwendeten Dekoder-IS zulassen — auch mit höherem Wert (22 ... 47 kΩ) angesetzt werden können. Bei den Schaltungen nach Bild 2.8 und Bild 2.9 ist zu beachten, daß die Taktfrequenz ständig anliegen muß! Bei Ausfall des Taktes kommt es — je nachdem, welche der beiden möglichen Pegel die cp-Signale dann annehmen und beibehalten — infolge der Wirkung der ExOR-Gatter sonst zu einer unzulässigen, u. U. die LCD schädigenden Gleichspannungsansteuerung. Diese kann überdies, je nach Pegel des cp-Signals, auch „negativ", d. h. mit Ansteuern der LCD-Segmente, die gemäß Dekoderstand eigentlich abgeschaltet sein sollen, auftreten.

Anschlußbelegung für die Ziffernanzeigebauelemente *VQE 21 ... VQE 24*

An-schluß	Ziffer	*VQE 21*	*VQE 22*	*VQE 23*	*VQE 24*
1	1	nicht belegt	nicht belegt	Anode C	Katode C
2	1	Anode d_p	Katode d_p	Anode E	Katode E
3	1	Anode B	Katode B	Anode D	Katode D
4	1	Katode	Anode	Katode	Anode
5	2	Katode	Anode	Katode	Anode
6	2	Anode D	Katode D	Anode D	Katode D
7	2	Anode E	Katode E	Anode E	Katode E
8	2	Anode G	Katode G	Anode C	Katode C
9	2	Anode d_p	Katode d_p	Anode d_p	Katode d_p
10	2	Anode G	Katode G	Anode G	Katode G
11	2	Anode A	Katode A	Anode A	Katode A
12	2	Anode F	Katode F	Anode F	Katode F
13	2	Anode B	Katode B	Anode B	Katode B
14	1	Anode A	Katode A	Anode B	Katode B
15	1	Anode d_L	Katode d_L	Anode F	Katode F
16	1	Anode C	Katode C	Anode A	Katode A
17	1	Anode d_U	Katode d_U	Anode G	Katode G
18	1	nicht belegt	nicht belegt	Anode d_p	Katode d_p

Bild 1.10 b — Anschlußbelegung der Ziffernanzeigen *VQE 21/22/23/24;* Bild 1.10a siehe Seite 16

3. Literatur

[1] *Jakubaschk*, Leuchtdioden und ihre Anwendung. Band 149 der Reihe electronica, Berlin 1977.

[2] *Müller*, Elektronische Anzeigebauelemente. Band 171 der Reihe electronica, Berlin 1979.

[3] *Müller*, Entwicklungsstand von Lichtemitteranzeigebauelementen. Elektronisches Jahrbuch 1982, Berlin 1981, Seite 104 bis 113.

[4] *Jakubaschk*, Elektronikbastelbuch für Foto- und Filmamateure. Leipzig 1981.

[5] *Jakubaschk*, Das große Schaltkreis-Bastelbuch, 2. Auflage. Berlin 1983.

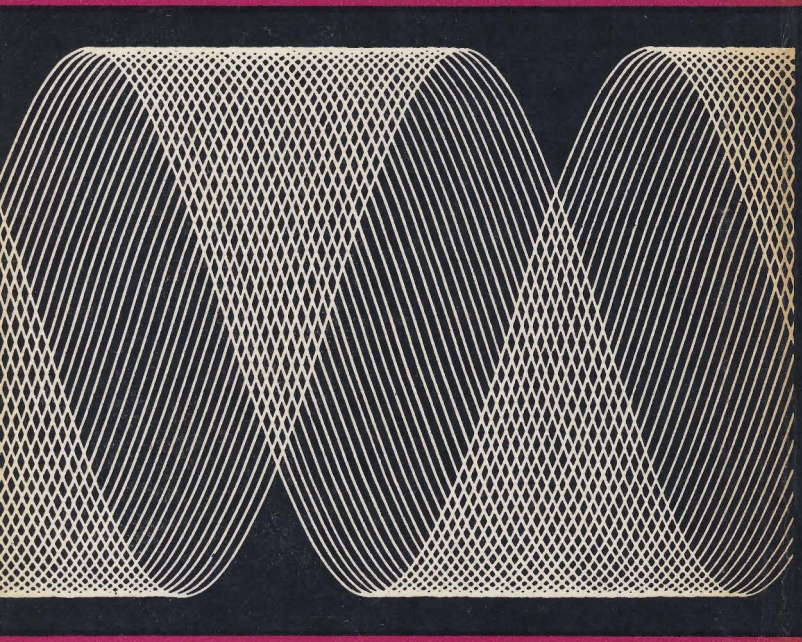
[6] *Kühne*, Ansteuerschaltungen für Leuchtdiodenzeilen. radio-fernsehen-elektronik 24 (1975), Heft 18, Seite 602.

[7] *Dahms/Elschner/Rödig*, LED-Ansteuerschaltkreis A 277 D. radio-fernsehen-elektronik 30 (1981) Heft 10, Seite 615 bis 618.

[8] *Dahms/Elschner/Rödig*, Anwendungen der IS A 277 D. radio-fernsehen-elektronik 30 (1981) Heft 12, Seite 757 bis 759 und 776.

[9] *Dahms/Elschner/Rödig*, Spezielle Anwendungen der IS A 277 D. radio-fernsehen-elektronik 31 (1982) Heft 3, Seite 174 bis 176.

[10] *Jakubaschk*, Kraftfahrzeug-Drehzahlmesser mit Leuchtbandanzeige. radio-fernsehen-elektronik 31 (1982), Heft 3, Seite 177 bis 179.

[11] *Bergmann*, Flüssigkristalle — ihre Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten. Bild und Ton 34 (1981) Heft 6, Seite 180 bis 185.

[12] *Müller*, Neue Flüssigkristall-Anzeigebauelemente. radio-fernsehen-elektronik 30 (1981) Heft 11, Seite 691 bis 693 und 699.